

Die Wertigkeit des initialen MRTs  
zur Diagnosefindung und Operationsplanung  
bei Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule

**Dissertation**  
**zur Erlangung des akademischen Grades**  
**doctor medicinae (Dr. med.)**

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Christian Gerhardt  
geboren am 25.06.1980 in Jena

#### Gutachter

1. Univ.-Prof. Dr. med. Rolf Kalff, Jena
2. Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunther O. Hofmann, Jena
3. Univ.-Prof. Dr. med. Raimund Firsching, Magdeburg

Tag der öffentlichen Verteidigung: 2. November 2010

für Isabel

# Abkürzungsverzeichnis

ALL	Ligamentum longitudinale anterius
ant.	anterior / anterius (lateinisch) – „vorne“
AO-Klassifikation	standardisierte Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
COR	cor (englisch) – „Kern“, dem Wirbelkörperödem entsprechend
CORx	Lokalisation von Wirbelkörperödemen außerhalb der beurteilten Wirbelkörperfraktur
CT	Computertomogramm / Computertomographie
DI CA	caudal disc (englisch) – „Bandscheibe kaudal“ der Wirbelfraktur
DI CR	cranial disc (englisch) – „Bandscheibe kranial“ der Wirbelfraktur
DSCT	Dual-Sorce-CT (englisch) – „Zweiquellen-CT“
EP CA	caudal endplate (englisch) – „Grundplatte“ des Wirbelkörpers
EP CR	cranial endplate (englisch) – „Deckplatte“ des Wirbelkörpers
et al.	et alii (lateinisch) – „und andere“
HWS	Halswirbelsäule
Lig.	Ligamentum (lateinisch) – „Band“
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
mm	Millimeter
ms	Millisekunden
MSCT	Multislice-CT (englisch) – „Vielschicht-CT“
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomogramm / Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
PLC	posterior ligament complex (englisch) – „hinterer ligamentärer Bandkomplex“
PLL	Ligamentum longitudinale posterius
post.	posterior / posterius (lateinisch) – „hinten“
qCT	quantitative Computertomographie
SSCT	Single-slice-CT (englisch) – „Einschicht-CT“
STIR	short Tau inversion recovery (englisch) – spezielle Wichtung im MRT
T1	Bezeichnung für eine häufige Wichtung im MRT
T2	Bezeichnung für eine häufige Wichtung im MRT
TE	Echozeit (im MRT)
TLÜ	thorakolumbaler Übergang (der Wirbelsäule)
TR	Repetitionszeit (im MRT)



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite:</b>
<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>2 Einleitung und Stand der Wissenschaften</b>	<b>10</b>
<b>3 Fragestellung und Ziele der Arbeit</b>	<b>18</b>
<b>4 Patienten</b>	<b>19</b>
4.1 Ein- und Ausschlusskriterien	19
4.2 Allgemeine Daten zu den Patienten	19
4.3 Spezielle Angaben zu Art und Anzahl der erlittenen Frakturen	21
<b>5 Methoden</b>	<b>24</b>
5.1 Röntgen-, CT- und MRT-Diagnostik	24
5.2 Auswertung der Röntgen-, CT- und MRT-Bilder	25
5.3 Methoden zur Datenerhebung	27
5.4 Statistische Methoden	27
<b>6 Klinische Ergebnisse</b>	<b>29</b>
6.1 Allgemeine und spezielle Frakturmerkmale im Röntgen und CT	31
6.2 Allgemeine und spezielle Frakturmerkmale im Röntgen und MRT	34
6.3 CT-okkulte Zusatzbefunde im MRT	49
6.4 Frakturklassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich	51
6.5 Sensitivität und Spezifität der Röntgen- und MRT-Diagnostik im Vergleich zur Röntgen- und CT-Diagnostik	58
6.6 Zusammenhang zwischen Operationsindikation und MRT-Befund	64
<b>7 Diskussion</b>	<b>66</b>
7.1 Die klinischen Ergebnisse und ihre Bedeutung	67
7.2 Grenzen und Fehlerquellen des MRTs bei Wirbelsäulenverletzungen	84
7.3 Vergleiche zu anderen diagnostischen Methoden	85
7.4 Bedeutung und Sinn des MRTs in der modernen Frakturdiagnostik bei Wirbelsäulenbrüchen	87
7.5 Grenzen und Fehlerquellen im Studienaufbau	89

<b>8</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	90
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	92
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und zusätzlichen Darstellungen</b>	103
<b>11</b>	<b>Zusätzliche Darstellungen</b>	106
	Ehrenwörtliche Erklärung	112
	Danksagung	113
	Lebenslauf des Autors	114

# 1 Zusammenfassung

Die Vorstellung von der menschlichen Wirbelsäule als komplexes Stütz- und Bewegungsorgan entwickelte und veränderte sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte. Durch die Erschließung neuer bildgebender Diagnostika konnten auch posttraumatische Veränderungen in diesem Bereich mehr verstanden werden.

So wurden immer wieder neue Klassifikationen zur Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen mit dem Ziel der Relevanz für Diagnostik, Therapie, Prognose und Wissenschaft entworfen. Diesbezüglich ist eine der aktuellsten und am häufigsten angewandten Einteilungen die Klassifikation nach Magerl et al. (1994).

Nach der Etablierung von Nativröntgen und Computertomogramm (CT) wurde das Magnetresonanztomogramm (MRT) seit seiner Erstbeschreibung 1946 zunehmend zur Beurteilung von Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule eingeführt. Diese bildgebende Methode ermöglichte Darstellungen von Bandstrukturen (Kliewer et al. 1993, Oner et al. 1999 b, Petersilge et al. 1995, Turk et al. 1997) und Bandscheiben (Modic et al. 1984, Edelman et al. 1985, Oner et al. 1999 a), welche einen hohen Stellenwert für die Diagnosefindung und Operationsplanung erwarten ließen und bei zukünftigen Klassifikationsentwürfen integriert werden sollten (Oner et al. 1999 b, Saifuddin et al. 1996).

Um das Potential des MRTs zu spezifizieren, wurden in der vorgelegten Promotionsstudie 100 Patienten mit Verdacht auf eine Wirbelsäulenfraktur prospektiv mittels Röntgen, CT und MRT im Zeitraum von März 2002 bis Februar 2006 untersucht. Die Darstellungen der festgestellten Wirbelsäulenbrüche wurden in zwei Studienzweigen ausgewertet und gegenübergestellt.

Mit der Aufgabe, die jeweils für die Diagnose, Therapieplanung und Prognose wichtigsten Frakturen eines präsentierten Falles zu beurteilen, bewertete ein erfahrener Neurochirurg 124 Wirbelbrüche im Röntgen und CT. Ein anderer erfahrener Neurochirurg beurteilte 111 Frakturen im Röntgen und MRT, wobei zusätzlich 55 Wirbel durch magnetresonanztomographische Zeichen eines Wirbelkörperödems auffielen.

Die Klassifizierung nach Magerl et al. (1994) wies zwischen den Studienzweigen eine mit anderen Studien ebenbürtige Reliabilität auf (Blauth et al. 1999, Oner et al. 2002 a). Diese verminderte sich von moderaten Werten bei der Beurteilung der Frakturtypen bis zu befriedigenden Werten (Landis und Koch 1977) bei der feineren Unterscheidung der Subgruppen schrittweise. Gleichzeitig fanden sich Zeichen, dass im MRT feine Frakturlinien im Wirbelkörper schwer zu beurteilen waren. So wurden z.B. 64 % der Spaltbrüche laut

CT-Befund im MRT als Impaktionsbrüche klassifiziert. Auch Verletzungen, die man im Studienzeitraum von Röntgen und CT als Berstungsfrakturen eingeschätzte, erhielten im Studienzeitraum von Röntgen und MRT häufig leichtere Klassifizierungen.

Bei 47 der verglichenen Brüche wurde ein Hinterkantenfragment in Röntgen und CT eruiert. In 31 Fällen konnte dieses Fragment auch in Röntgen und MRT bestätigt werden. Bei den verbleibenden 16 Frakturen stellte das MRT eine abgesprengte Hinterkante nicht ausreichend dar. 32-mal konnte eine im CT dargestellte Stufenbildung der seitlichen Konturen des Wirbelkörpers im MRT nicht nachvollzogen werden.

Auch in der Beurteilung der Wirbelbögen gab es einige Differenzen zwischen den Studienzeiträumen. Dabei waren die Darstellungen im Studienzeitraum von Röntgen und MRT häufiger auffällig.

Neben diesen Schwierigkeiten des MRTs in der Darstellung feiner ossärer Strukturen zeigten sich klassifikationsrelevante Stärken in der Begutachtung der Bänder. In dieser Promotionsstudie wurde im MRT bei 81,1 % der Frakturen das Ligamentum longitudinale anterius (ALL) als gedehnt oder gerissen eingeschätzt. Das Ligamentum longitudinale posterius (PLL) erschien in 51,3 % auffällig. Der posteriore ligamentäre Komplex (PLC) wurde im MRT bei 79,3 % der Frakturen als unbeteiligt dargestellt, zeigte jedoch bei 100 % der Distraktions- und bei 85,8 % der Rotationsbrüche Hinweise auf eine Affektion. Die Schwere der Bandverletzungen korrelierte mit dem Ausmaß der Fraktur bezüglich der Magerl-Klassifikation (Spearman's Rho für die Magerl-Gruppe beim ALL: 0,47; PLL: 0,61; PLC: 0,53 [je  $p < 0,01$ ]). Zudem war der Zusammenhang zwischen der Verletzung des PLL mit dem Auftreten eines Hinterkantenfragmentes signifikant (Spearman's Rho: 0,52 [ $p < 0,01$ ]).

Hinsichtlich der Einstufung in die Magerl-Klassifikation fiel auf, dass sich im Vergleich zum Studienzeitraum von Röntgen und CT alle differierenden Frakturtypen aus einer höheren Einordnung im MRT ergaben (10,3 % der Brüche). Dabei konnte in sieben von zehn Fällen eine Verletzung des PLC als Ursache gesichert werden.

Bei 64,6 % der Kompressions-, 75 % der Distraktions- und 100 % der Rotationsfrakturen fand sich eine Verletzung der kranialen Bandscheibe. Kaudale Bandscheiben erschienen signifikant seltener und leichter posttraumatisch verändert.

Bei 22 Patienten wurden im MRT Hämatome dargestellt, wobei der Begutachter 17 epidurale Blutungen eruierte. Auffällig war zudem, dass bei 71,4 % aller Patienten mit inkompletter und 50,0 % der Personen mit kompletter Querschnittssymptomatik ein solches Epiduralhämatom nachgewiesen wurde.

Mit dieser Promotionsstudie konnten deutliche klassifikations- und therapierelevante Stärken des MRTs in der Beurteilung von Bandstrukturen, Bandscheiben und Rückenmarksbeteiligung nachgewiesen werden. Insbesondere epidurale Hämatome und ligamentäre Zerreißungen führten zur Änderung der initialen Therapiestrategie. Parallel zeigten sich im CT oft ungenügende und indirekte Hinweise auf solche Weichteilverletzungen. Andererseits wiesen die computertomographischen Darstellungen eindeutige Vorteile bei der Begutachtung der Wirbelkörperkortikalis und der dorsalen ossären Anteile der Wirbelsäule auf. Hier bot das MRT häufig nur ungenügende oder indirekte Verletzungszeichen.

Resultierend aus diesen Ergebnissen wird empfohlen die magnetresonanztomographische Darstellung als ergänzendes Diagnostikum mit hoher und steigender Relevanz einzusetzen. Nativröntgen und CT sollten weiterhin als Basisdiagnostika beim Verdacht auf eine Wirbelfraktur gelten. Zudem wäre eine Adaptation der Magerl-Klassifikation an die neuen diagnostischen Möglichkeiten, die das MRT bietet, wünschenswert.

## **2 Einleitung und Stand der Wissenschaften**

Zum Verfassungszeitpunkt dieser Promotionsarbeit gibt es nur wenige epidemiologische Daten zu traumatischen Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule in Deutschland, vorwiegend aufgrund mangelnder Erfassung leichter und konservativ behandelter Fälle (Bühren 2003). Allgemein wurde ein Trend steigender Inzidenz von Wirbelsäulenfrakturen in den Industrieländern beschrieben (Oner 1999 c). So war im Zeitraum von 1994 bis 1999 die Anzahl der Behandlungsfälle in Deutschland von 63,2 auf 69,5 pro 100 000 Einwohner (Schwerdtfeger et al. 2004) gestiegen, wobei die Daten auf einer Auswertung der deutschen Krankenhaus-Diagnose-Statistik beruhen. Für den Raum Kanada wurden schon in der Zeit von 1981 bis 1984 pro Jahr 64 registrierte Wirbelsäulenverletzungen pro 100.000 Einwohner angegeben (Hu et al. 1996).

Auch wenn sich bei der Behandlung von Distraktions- und Rotationsfrakturen sowie bei Wirbelsäulenverletzungen mit akutem neurologischen Defizit die operative Therapie weitgehend durchgesetzt hat, sind Therapiekonzepte bei sonstigen Indikationen und die Wahl des operativen Zugangs bzw. verschiedene Techniken der Stabilisierung nach wie vor umstritten (Ağuş et al. 2004, Blauth et al. 1999, Knop et al. 1999, Reinhold et al. 2003, Siebenga et al. 2006, Vaccaro et al. 2006, van der Roer et al. 2005, Verlaan et al. 2004, Wolter et al. 2001). Eine Studie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie an 18 Kliniken in Deutschland und Österreich in den Jahren 1994 bis 1996 zeigte bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs den dorsalen Zugang mit 65,7 % als den am häufigsten angewandten Zugang, neben 28,9 % kombiniert dorsoventral und 5,4 % von ventral operierten Patienten. Als dorsales Implantat wurde nahezu immer ein winkelstabiler Fixateur interne genutzt. Ventral wurden winkelstabile Platten- oder Stabsysteme und seltener winkelinstante Platten verwendet (Knop et al. 2000). Eine jüngere Studie im deutschsprachigen Europa belegte einen Trend zur kombinierten dorsoventralen Stabilisierung mit winkelstabilen Systemen im dorsalen Bereich. Der Wirbelkörper wurde bei einer zunehmenden Zahl osteoporotischer Frakturen häufig mittels Kypho- und Vertebroplastie behandelt, wobei sich minimalinvasive Techniken einer zunehmenden Beliebtheit erfreuten (Reinhold et al. 2009 b).

Stellt zum aktuellen Zeitpunkt die Abklärung von Wirbelsäulenbeschwerden eine der häufigsten Indikationen für die radiologische Konsultation dar (Goddard und Gholkar 2002),

so wird dies durch viele wissenschaftliche Bemühungen und Innovationen in der Vergangenheit überhaupt erst ermöglicht.

Zu einer Zeit, in der es noch keine radiologische Diagnostik gab, musste man sich auf die Erkennung eines posttraumatischen „Gibbus“ und die Korrektur jener abgewinkelten Verformung in dem natürlicherweise eher harmonischen Profil des Rückrates beschränken (Bonnaire und Röhl 2005, Silver 2005).

Den Beginn der medizinischen Bildgebung begründete Wilhelm Conrad Röntgen, als er 1895 eine „neue Art von Strahlen“ entdeckte und diese in den „Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft“ beschrieb (Röntgen 1895).

Aufgrund der geringen Intensität der Strahlen, die eine damalige Kathodenröhre erzeugte, benötigte die Herstellung einer Wirbelsäulenabbildung anfänglich 15 Minuten. Das Anwendungspotential der „X-Strahlen“ weckte schnell weltweites wissenschaftliches Interesse. Schon bald folgten technische Verbesserungen wie Hochspannungsgeneratoren, fokussierte Vakuumröhren und Bildschirmtechnologien, welche der röntgenologischen Bildgebung zur heutigen Bedeutung in der Medizin verhalfen (Hesselink 1988). Im Zuge der Weiterentwicklung wurde diese Art der Bildgebung auch zunehmend für die Diagnostik und Erforschung von Wirbelsäulenfrakturen erschlossen. So benannte z.B. Böhler die Einführung der seitlichen Einstellung 1914 und der Schrägaufnahme 1928 als wichtige Schritte in der Beurteilung der Wirbelsäule und nutzte jenes Diagnostikum selbst zur Durchführung von Kadaverstudien (Böhler 1951 a). Bei der Beurteilung von Verletzungen der Wirbelsäule spielt das Nativröntgen bis zum aktuellen Zeitpunkt eine bedeutende Rolle. Dabei ist es als wichtigstes radiologisches Basisdiagnostikum, sowohl vor der Therapieentscheidung als auch für die Verlaufskontrolle, in den Untersuchungsablauf integriert (Goddard und Gholkar 2002, Josten und Katscher 2003). Bot diese Art der Bildgebung einerseits einen guten Überblick bei einzigartiger Perspektive auf die Knochenmorphologie mit unübertroffener Textur (Fortin 2002), so zeigten adäquate Bilder andererseits 2,81 % bis 7 % signifikanter Wirbelfrakturen nicht und beinhalteten eine schlechte Darstellung von Weichteilstrukturen (Mower et al. 2001, Plaue 1972). Außerdem zeigte sich in späteren Studien bei alleiniger Beurteilung durch das Röntgen eine Tendenz zur Fehlklassifikation von Wirbelfrakturen, wie z. B. die verstärkte Verkennung von Berstungsbrüchen als einfache Kompressionsfrakturen (Ballock et al. 1992).

In den Jahren 1914 bis 1931 beschäftigten sich mehrere Wissenschaftler unabhängig voneinander damit, möglichst artefaktfreie Schichtbilder des Körpers durch eine Bewegung der Röntgenquelle und des Detektors zu produzieren. So gelang dem Italiener Baese 1915 die

Darstellung von Projektilen bei schussverletzten Soldaten mit dieser Technik, die er in Italien und England patentieren ließ. Auch der Franzose Bocage entwickelte 1917 diese Methode und beantragte 1921 das Patent dafür. Auf diesem Verfahren aufbauend konstruierte 1931 Ziedses des Plantes in Holland ein Tomographiegerät und publizierte 1934 erste klinische Ergebnisse zu Untersuchungen von Schädel und Wirbelsäule (Hege 2005). Über viele Jahre wurde die Tomographie genutzt, um komplexe Wirbelkörperfrakturen darzustellen und Bruchfragmente im Wirbelkanal, Kortikaliserosionen oder Periostreaktionen zu belegen (Hesselink 1988).

Die Computertomographie erschloss der radiologischen Diagnostik seit 1973 neue Möglichkeiten. Eingeführt wurde sie durch Hounsfield (Hounsfield 1980) und klinisch erprobt durch Ambrose (Ambrose 1973).

Durch die elektronische Analyse von Röntgenstrahlen, die den Körper in unterschiedlichen Winkeln durchdringen, ergab sich ein Informationsgewinn bis hin zur Darstellung und Unterscheidung verschiedener Weichteilgewebe (Hounsfield 1980). Die ersten Scanner waren noch sehr langsam und benötigten eine große Computeranlage, wobei die Bilder durch Bewegung und Atmung artefaktbeladen waren. Weiterentwicklungen in Hardware, Software und Gantry verkürzten die Scanzeiten und verbesserten die Auflösung der Bilder.

Die Anwendung der Kontaktringtechnologie ermöglichte die Einführung des Spiral-CTs, welches die Untersuchungsgeschwindigkeit weiter beschleunigte und Darstellungen geringer Schichtdicke mit guten Rekonstruktionsmöglichkeiten bot. Durch die Anwendung von weiteren Detektoren im Multislice-CT (MSCT) und einer weiteren Strahlungsquelle im Dual-Sorce-CT (DSCT) wurden die zuvor genannten Parameter bis heute zusätzlich verbessert.

Heute gehört die Nutzung des CTs für die Beurteilung von Wirbelkörperbrüchen in vielen Kliniken zum Standard (Reinhold et al. 2009 b). Es kann neben der initialen Frakturdarstellung auch zur postoperativen Kontrolle angewandt werden (Moll et al. 2002, Reinhold et al. 2009 b). Aufgrund einer besseren Darstellung ossärer Anteile stellt das CT einen großen diagnostischen Gewinn dar. Insbesondere dislozierte Frakturelemente im Spinalkanal (Ghoshhajra und Rao 1980, McAfee et al. 1983) und Läsionen in den dorsalen Abschnitten der Wirbelsäule (Gestring et al. 2002, McAfee et al. 1983) können eruiert werden. Resultierend aus diesem Zugewinn verbunden mit den Einsparungen an Zeit, Kosten, Strahlungsbelastung und geringeren Risiken bei der Umlagerung wurde sogar die alleinige computertomographische Darstellung ohne initiales Nativröntgen zur Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen vorgeschlagen (Wintermark et al. 2003). Auch im Vergleich zur Magnetresonanztomographie bot das CT eine höhere räumlich Auflösung für eine bessere



Definition von Frakturen und Knochenmorphologie (Beers et al. 1988, Flanders et al. 1990, Fortin 2002, Goddard und Gholkar 2002, Hesselink 1988, Kliewer et al. 1993, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988). Die Darstellung von Weichteilstrukturen im CT wurde unterschiedlich bewertet. So beschrieb man z. B. die Abbildung von Abstands- und Konturänderungen bei der Bandscheibenpathologie sowie die Darstellung der Nervenwurzeln und des Spinalkanals zum Teil als ausreichend (Fortin 2002, Ghoshhajra und Rao 1980). Auf der anderen Seite wurde das CT zur Beurteilung frakturassoziierter Auffälligkeiten der Weichteile nicht empfohlen. Hierzu gehörten Bandverletzungen, Bandscheibenvorfälle und Schädigungen des Rückenmarks oder der Nervenwurzeln. Auch die Darstellung von traumatischen Epi- oder Subduralhämatomen wäre nicht ausreichend (Goddard und Gholkar 2002). Ein weiterer Nachteil seien Schwierigkeiten bei der Klassifikation, welche sich besonders bei der Beurteilung der Distraktionskomponente ergäben. Diese könne zu großen Teilen aus Hinweisen auf Bandverletzungen erschlossen werden (Josten und Katscher 2003, Leferink et al. 2002, Magerl et al. 1994). Zudem resultiere aus jeder Untersuchung eine Strahlenbelastung für den Patienten, die speziell beim MSCT im Vergleich zum SSCT (Single-slice-CT) leicht erhöht sei. In den vergangenen Jahren konnte sie aber durch bessere Technik und verantwortungsvollen Gebrauch reduziert werden (Shrimpton et al. 2005).

Das Phänomen der Magnetresonanz (MR) wurde von Bloch (Bloch 1946) und Purcell (Purcell et al. 1946) beschrieben und fand zuerst in der MR-Spektroskopie Anwendung. 1973 verwirklichte Lauterbur die Idee aus dem MR-Signal Bilder zu konstruieren (Lauterbur 1989). Die Anwendung von Mehrschichtensequenzen, höheren Feldstärken, stärkeren Gradienten und speziellen Spulen verhalfen dem MRT später zu höherer Qualität (Hesselink 1988). Auch zur Begutachtung von Wirbelsäulenverletzungen wurde das MRT zunehmend eingesetzt und dessen Anwendbarkeit in zahlreichen wissenschaftlichen Studien belegt, welche am Ende des Kapitels 2 näher erläutert wurden.

Im Zuge der Entwicklung der bildgebenden Modalitäten schritt auch die Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen voran. Bereits 1951 warb Böhler in seinem Werk zur Knochenbruchbehandlung für seine Einteilung von Wirbelfrakturen in Stauchungsbrüche, Biegungsbrüche nach vorn, nach hinten und zur Seite sowie Abscherungs- und Drehbrüche. Hierbei wurden assoziierte Frakturmerkmale und prognostische Parameter vom Autor berücksichtigt. Therapeutische Konsequenzen wurden jedoch zum größten Teil aus anderen Parametern und Frakturmerkmalen gezogen (Böhler 1951 b).

Nicoll unterteilte die Wirbelsäulenbrüche von 152 Minenarbeitern in anteriore und laterale Keilbrüche neben dislozierten Frakturen und isolierten Brüchen des Wirbelbogens. Zudem untersuchte er die Langzeitergebnisse der angeschlossenen Behandlungen. Resultierend wurde die Wichtigkeit der Unterscheidung in stabile und instabile Frakturen betont. Diese Unterscheidung habe einen essentiellen Effekt auf die Therapieentscheidung und Prognose. Im Zusammenhang mit dieser Stabilitätsbeurteilung beschrieb er auch die Rolle des Ligamentum interspinosum als wichtig. Verletzungen dieses Bandes konnten zu seiner Zeit lediglich aufgrund einer fühlbaren Delle und einer röntgenologischen Abstandsvergrößerung zwischen den benachbarten Processi spinosi diagnostiziert werden (Nicoll 1949).

21 Jahre später veröffentlichte Holdsworth nach Begutachtung von mehr als 1000 Wirbelfrakturen eine weitere Klassifikation. Er empfahl eine Einteilung in 6 unterschiedliche Bruchformen resultierend aus den 5 verschiedenen Verletzungsmechanismen: Flexion, Flexion mit Rotation, Extension, vertikale Kompression und Abscherung. Wie auch Nicoll so unterstrich Holdsworth bei der von ihm vorgelegten Klassifikation die Unterscheidung in stabile (einfacher Keilbruch, Berstungs- und Extensionsbruch) und instabile Frakturen (Dislokationsbruch, rotierter Dislokationsbruch und Scherbruch). Er betonte ebenfalls die damit assoziierte, bedeutende Rolle der Integrität der dorsalen Bänder. Dabei weitete er die Benennung der gegen Längszug stabilisierenden Strukturen neben dem Ligamentum interspinosum auf die Ligamenta supraspinosum und flavum sowie die periartikulären Bänder der Wirbelgelenke aus. Diese fasste er als Erster im hinteren ligamentären Komplex (PLC = posterior ligament complex) zusammen (Holdsworth 1970).

Mit der Einführung des von ihm entworfenen Kranmodells leistete Whitesides 1977 einen weiteren großen Beitrag zum Verständnis der Stabilitätsverhältnisse der Wirbelsäule. Seiner Ansicht nach widerstünden Wirbelkörper und Bandscheiben Kompressionskräften, während die dorsalen Strukturen Zugkräften und die Wirbelgelenke zusammen mit den Bandstrukturen Rotationskräften entgegenwirken würden. Im gleichen Zug reorganisierte Whitesides die mechanistische Klassifikation von Holdsworth und gab konkrete Therapieempfehlungen, um einer chronischen Instabilität und Deformität entgegenzuwirken (Whitesides 1977).

Die Etablierung der Computertomographie in der Frakturdiagnostik erweiterte auch die Beurteilungsmöglichkeit und das Wissen bezüglich der Wirbelsäulenverletzungen. So schloss Denis 1983 aus der retrospektiven Untersuchung vertebraler Verletzungen von 412 Patienten, in die auch axiale computertomographische Darstellungen von 53 Personen einfließen, dass hinzukommend zu den Ausführungen Holdsworths die Einführung einer dritten, mittleren Säule und einer resultierenden Klassifikation von Nöten sei. Er unterschied die vier „major

spinal injuries“ Kompressionsfrakturen, Berstungsbrüche, Verletzungen vom Sicherheitsgurttyp („Seat-belt-type“) und Dislokationsfrakturen, welche zudem in Untergruppen eingeteilt werden sollten. Außerdem war es ihm in seinen Analysen möglich, isolierte Frakturen der Wirbelbögen zu belegen, welche er als „minor spinal injuries“ zusammenfasste. Der Autor betonte, dass seine Klassifikation mit dem Grad der Instabilität und des neurologischen Defizits korreliere und zudem therapie-relevant sei (Denis 1983).

Auch McAfee erkannte den Wert des CTs hinsichtlich der Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen, hielt die Einteilung von Denis jedoch für zu komplex und zu wenig therapie-relevant. Er vereinigte die Vorarbeit von Denis zur mittleren Säule mit biomechanischen Erkenntnissen von White und Panjabi (White und Panjabi 1978), um eine eigene Klassifikation zu entwerfen: 6 Frakturtypen resultierten aus den wichtigsten 3 auf die mittlere Säule wirkenden Kräften, nämlich der axialen Kompression, der axialen Distraction und der Translation. Die Einteilung in Kompressionskeilbrüche, stabile und instabile Berstungsbrüche, Chancefrakturen (den Verletzungen vom „Seat-belt-type“ nach Denis entsprechend), Flexionsdistraktions- und Translationsverletzungen ließe sich am besten im CT nachvollziehen, indiziere die Operationsstrategie und korreliere sowohl mit der Schwere neurologischer Defizite als auch mit dem Instabilitätsgrad. Aus der computertomographischen Begutachtung von Wirbelsäulenverletzten mit neurologischen Störungen, schweren Deformitäten oder Hinweisen auf eine Störung aller drei Säulen schloss der Autor eine gegenüber Röntgen und Tomographie herausragende Aussagekraft dieser bildgebenden Modalität. Diese ermögliche zusätzlich die Beurteilung des Wirbelbogens und prolabierender oder zerstörter Weichteile der mittleren und hinteren Säule. Allerdings sei bei zunehmenden neurologischen Symptomen und unter Verdacht einer Verletzung oder Kompression des Duraschlauches die subarachnoidale Gabe eines Kontrastmittels vor Durchführung der computertomographischen Bildgebung indiziert (McAfee et al. 1983).

Im folgenden Jahr veröffentlichten Ferguson und Allen eine mechanistische Klassifikation, welche ebenfalls auf Denis' Drei-Säulenmodell und der Instabilitätsdefinition von White und Panjabi basierte. Einfache radiologische Merkmale der Höhenveränderung innerhalb der einzelnen Säulen dienten als im konventionellen Röntgen nachvollziehbare Parameter zur Unterscheidung von 7 Frakturkategorien. Konkrete therapeutische Konsequenzen wurden von den Autoren gezogen und als entsprechende Behandlungsempfehlungen weitergegeben (Ferguson und Allen 1984).

Auch McCormack stellte zehn Jahre später eine Klassifikation vor, welche stark auf eine resultierende Therapieindikation ausgerichtet war. Allerdings ergab sich seine „Load-Sharing-

Klassifikation“ aus retrospektiven Beobachtungen. Bei 10 von 28 Patienten hatten sich in der Nachsorgeuntersuchung nach einer posterioren Kurzsegmentstabilisierung Pedikelschraubenbrüche ergeben, wobei sich eine starke Korrelation mit 3 im Röntgen und CT beurteilten Kriterien ergab. Darunter fielen der Grad der Wirbelkörperbeteiligung, das Ausmaß der Absprengung von Wirbelkörperfragmenten und die Korrektur der traumatischen Kyphose. McCormarck erwähnte, dass neben diesen Parametern auch ligamentäre Verletzungen und der Frakturmechanismus betrachtet werden müssten. Er wies darauf hin, dass mit Hilfe der Klassifikation Fehler der dorsalen Stabilisierung vorhersagbar seien. Je nach Mobilitätsbedarf und Operationsrisiken könne durch eine zusätzliche anteriore Stabilisierung oder eine dorsale Instrumentation über einen längeren Wirbelsäulenabschnitt interveniert werden (McCormarck et al. 1994). Auch andere Autoren gaben an, diese Klassifikation als Indikationskriterium bezüglich der Entscheidung über eine anteriore und posteriore Fixation anzuwenden (Saifuddin et al. 1996).

Der Sinn einer Klassifikation sei es, in knapper deskriptiver Terminologie, eine gemeinsame Basis für die einfache Beschreibung jeglicher Verletzung zwecks Einordnung von Schweregrad, Therapiewahl und wissenschaftlicher Auswertung zu schaffen, so Magerl et al. (1994). Da bisher erstellte Klassifikationen wichtige Beiträge dazu leisteten, jedoch noch nicht das Gesamtziel erreicht worden wäre, entwarfen sie eine eigene, an die AO-Klassifikationen angelehnte Einteilung für thorakolumbale Wirbelsäulenverletzungen. Auf der Grundlage von Whitesides Zwei-Säulen-Modell teilten sie die Frakturen in drei, nach pathomorphologischen Kriterien unterscheidbare Typen, welche zugleich aus drei, sich an McAfees Veröffentlichungen anlehrende Mechanismen resultieren. So unterschieden sie Kompressions-, Distraktions- und Torsionsverletzungen, welche sie wiederum nach morphologischen Kriterien in Gruppen und Subgruppen unterteilten. Typen, Gruppen und Subgruppen seien soweit wie möglich nach dem Schweregrad der Verletzung geordnet worden, in welche hauptsächlich der Instabilitätsgrad eingeflossen wäre. Die Sortierung nach Instabilitäten gegenüber bestimmten Kräften liefere zusätzlich gezielte Anhaltspunkte zum Therapieansatz. Außerdem ergäben sich Hinweise auf prognostische Aspekte. Nach der Auswertung von 1445 Frakturen wurde zudem gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit neurologischer Defizite mit steigendem Typ und höherer Gruppe zunahm (Magerl et al. 1994, erklärende Übersicht: siehe Anhang – Kapitel 11 – Darstellung 2 und 5). Nach Veröffentlichung der Klassifikation wurde sie von verschiedenen Autoren angewandt und getestet. Dabei bestätigte sich eine Korrelation mit dem Grad der Instabilität innerhalb der Typen und Gruppen (Blauth et al. 1999), wie auch mit der Häufigkeit neurologischer Störungen innerhalb der Typen (Knop et al. 1999).

Wurde durch die Magerl-Klassifikation eine präzisere und detailliertere Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen möglich, so zeigten sich in nachfolgenden Erprobungen sukzessive Einbußen in der Interobserverreliabilität (Oner et al. 2002 a). So wurden beispielsweise im Rahmen einer Untersuchung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie Röntgen- und CT-Bilder von 12 Patienten mit 14 Frakturen an 22 Kliniken verschickt, um sie innerhalb der Magerl-Klassifikation einzuordnen. Dabei ergab sich ein Cohens Kappa (Erklärung siehe Kapitel 5.4) von 0,33 bei 67 % Übereinstimmung für den Typ, 0,27 bei 56 % für die Gruppe, 0,23 bei 46 % für die Untergruppe 1 und 0,21 bei 45 % für die Untergruppe 2 (Blauth et al. 1999). Hierbei waren Probleme bei der Einstufung von Übergangsformen aufgefallen, wie etwa die auch von Magerl et al. erwähnte schwierige Unterscheidung zwischen Frakturen vom Typ A und Typ B anhand einer Distraktionskomponente oder von Typ A bzw. B und Typ C anhand von Hinweisen auf eine Rotation (Blauth et al. 1999). Somit stellt die Magerl-Klassifikation ein Werkzeug mit besonderen Möglichkeiten zur umfassenden Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen zur Diagnosefindung, Therapieplanung und wissenschaftlichen Evaluierung dar, dessen Wert durch die Exploration neuester diagnostischer Mittel ausgeschöpft werden muss (Blauth et al. 1999, Josten und Katscher 2003, Oner et al. 2002 a).

Insbesondere bezüglich der zuvor genannten Problematik der Distraktionskomponente, wurde das Potential des MRTs zur Detektion ligamentärer Verletzungen von vielen Autoren erkannt und bewiesen (Kliwer et al. 1993, Lee et al. 2000, Petersilge et al. 1995, Turk et al. 1997). Zudem offeriere diese diagnostische Modalität verlässliche Darstellungen zur Beurteilung von Bandscheiben- (Modic et al. 1984, Edelman et al. 1985, Oner et al. 1999 a) und Endplattenverletzungen (Oner et al. 1999 a, Oner et al. 2002 b).

1999 veröffentlichte Oner mit seiner Arbeitsgruppe eine weitere Studie mit dem Ziel die Darstellungsmöglichkeiten im MRT genauer zu kategorisieren und mit der Magerl-Klassifikation in Beziehung zu setzen. Die Variationsbreite in der magnetresonanztomographischen Darstellung von Ligamentum longitutinele anterius und posterius (ALL bzw. PLL), des PLC, der kranialen und kaudalen Bandscheibe, der Deck- und Grundplatte sowie des Wirbelkörperödems sei ihren Ergebnissen zufolge innerhalb der Studiengruppe reliabel, werde jedoch von der aktuell verbreiteten Klassifikation nach Magerl et al. (1994) nicht erfasst. Somit wäre die Definition und Integration MRT-spezifischer Merkmale für diese auf Röntgen und CT basierenden Einteilung problematisch. Die Erarbeitung einer auf den neuesten diagnostischen Möglichkeiten aufbauenden Klassifikation sei von Nöten (Oner et al. 1999 b). Diese Konsequenz wurde auch von Saifuddin aus einer Summation der aktuellen wissenschaftlichen Meinungen und eigenen Erfahrungen gezogen (Saifuddin et al. 1996).

### 3 Fragestellung und Ziele der Arbeit

Basierend auf der dargestellten hoffnungsvollen Entwicklung radiologischer Möglichkeiten ergab sich der Bedarf, die Bedeutung des MRTs bezüglich seiner diagnostischen Aussagekraft zur Beurteilung posttraumatischer Zustände der Wirbelsäule und deren Auswirkungen auf die Therapieplanung zu prüfen.

Im Rahmen der vorliegenden prospektiven Studie wurde bei 100 Patienten, die eine thorakolumbale Wirbelsäulenverletzung erlitten hatten, unabhängig vom neurologischen Status, routinemäßig neben Nativ-Röntgen und CT eine Untersuchung mittels MRT durchgeführt. In zwei Studienzweigen erfolgte die Auswertung und Gegenüberstellung der Bilddaten von Röntgen und CT bzw. Röntgen und MRT.

Neben der Beurteilbarkeit knöcherner Elemente sollte dabei ein besonderes Augenmerk auf die Darstellung von Weichteilstrukturen gelegt werden, um deren Relevanz für die Einschätzung des anfänglichen Verletzungsstatus und für die Festlegung des weiteren Prozedere festzustellen. Ziel war insbesondere die Beantwortung folgender Fragen:

- (1) Sieht man im MRT zusätzliche Frakturen anderer Wirbel, die in den Nativaufnahmen nicht erkennbar sind?
- (2) Ergeben sich in der magnetresonanztomographischen Beurteilung knöcherner Strukturen Unterschiede zum CT?
- (3) Stellt das MRT zusätzliche Verletzungen der Bandscheiben dar, die im CT nicht erkennbar sind?
- (4) Können im MRT zusätzliche Verletzungen der Bandstrukturen beurteilt werden, die im CT nicht nachweisbar sind?
- (5) Führen die im MRT festgestellten Verletzungen bereits präoperativ zu einer Änderung des Frakturtyps in der Klassifikation nach Magerl?
- (6) Führen die im MRT erkannten Verletzungen zu einer Änderung des ursprünglichen, nach Nativröntgen und CT festgelegten Therapiekonzeptes?
- (7) Ergeben sich aus den MRT-Befunden unerwartete Notfallsituationen?

## **4 Patienten**

Die vorliegende Studie ist als prospektive Erhebung für 100 Patienten konzipiert worden, die mit einer Wirbelfraktur im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule in die Universitätsklinik Jena primär aufgenommen oder sekundär aus anderen Krankenhäusern überwiesen wurden.

### **4.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Für die durchgeführte Untersuchung waren Patienten aller Altersgruppen mit mindestens einer traumatischen Fraktur im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule zugelassen, bei welchen die Diagnostik vor Therapieentscheidung und eventueller Operationsplanung ein bestimmtes Mindestmaß an Bildmaterial ergeben haben sollte. Dieses Bildmaterial beinhaltete Darstellungen der betroffenen Wirbelsäulenabschnitte mittels Röntgen, Computertomogramm sowie Magnetresonanztomogramm.

Die genannten bildgebenden Methoden waren standardisiert in das initiale Prozedere der Universitätsklinik Jena bei Patienten mit einem Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung integriert, sofern sie nicht bereits zuvor durch eine überweisende Kliniken durchgeführt worden waren. In letzterem Fall wurden die Bilddaten durch die Klinik in Jena nur ergänzt.

Ausgeschlossen blieben Patienten, bei denen eine Untersuchung im MRT aufgrund von Begleitverletzungen oder einer höchstgradigen Querschnittssymptomatik eine medizinisch unzumutbare Verzögerung bedeutet hätte. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Personen, bei denen eine pathologische Ursache der Fraktur festgestellt wurde. Zur zuletzt genannten Gruppe gehörten Patienten mit Wirbelsäulenschäden aufgrund primärer und sekundärer neoplastischer Infiltrationen oder einer manifesten Osteoporose, gesichert mittels Knochendichtemessung mit Hilfe der qCT (quantitative Computertomographie).

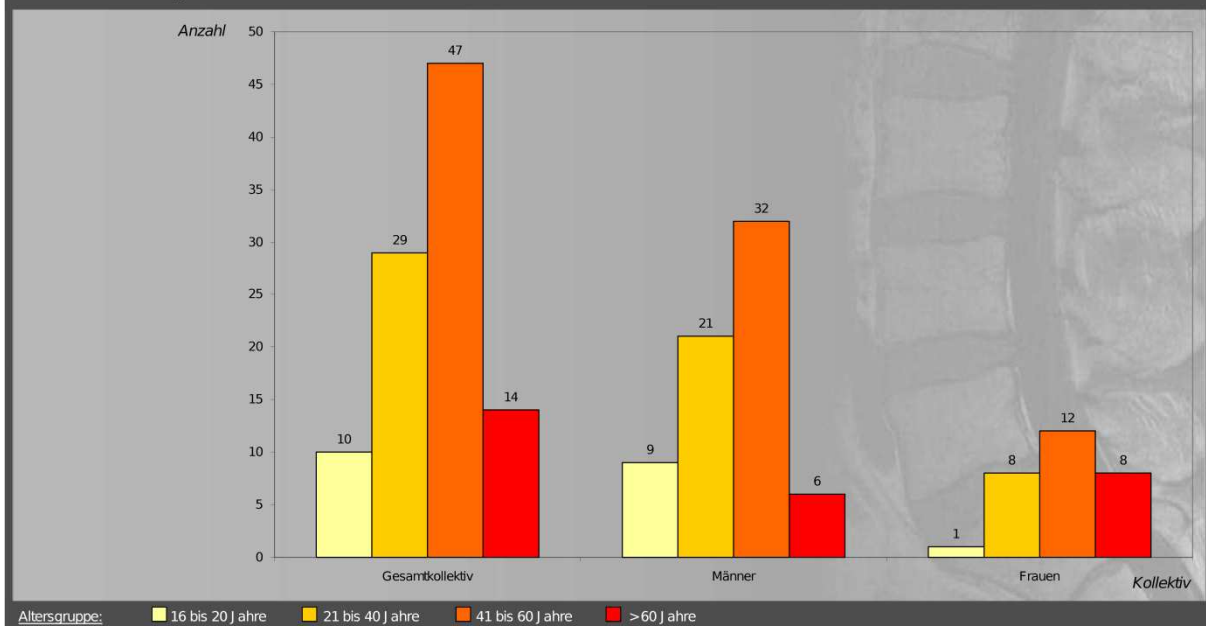
### **4.2 Allgemeine Daten zu den Patienten**

Entsprechend der in Kapitel 4.1 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien wurden 100 Patienten im Alter von 16 bis 81 Jahren (Zeitpunkt des Aufnahmetages, Durchschnittsalter 43,5 Jahre) in die Studie aufgenommen. Darunter befanden sich 32 Frauen im Alter von 19 bis 81 Jahren (Durchschnittsalter 48,9 Jahre) und 68 Männer im Alter von 16 bis 73 Jahren (Durchschnittsalter 41,0 Jahre). Die Altersverteilung wurde in Abbildung 1 und Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Altersverteilung im Patientenkollektiv						
Altersgruppe	Gesamtkollektiv		Männer		Frauen	
	n	Anteil am Kollektiv [%]	n	Anteil am Kollektiv [%]	n	Anteil am Kollektiv [%]
16 bis 20 Jahre	10	10,0	9	9,0	1	1,0
21 bis 40 Jahre	29	29,0	21	21,0	8	8,0
41 bis 60 Jahre	47	47,0	32	32,0	15	15,0
>60 Jahre	14	14,0	6	6,0	8	8,0
Summe	100	100,0	68	68,0	32	32,0

Abbildung 1

Altersverteilung im Patientenkollektiv



Die in die Studie eingeschlossenen Personen wiesen insgesamt 153 Wirbelfrakturen auf. Sie wurden innerhalb des Zeitraumes vom März 2002 bis Februar 2006 in der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Jena betreut. Während in den Jahren 2002 und 2006 jeweils fünf Patienten für die Studie erfasst wurden, konnten im Jahr 2003 zwölf und in den beiden folgenden Jahren jeweils 39 Patienten eingeschlossen werden. Eine jahreszeitliche Korrelation des Verletzungsauftritts wurde nicht festgestellt.

Eine kategorische Übersicht der jeweils anamnestisch erfassten Unfallursache zeigte „Stürze aus der Höhe“ (entsprechend einem freien Fall aus einer Höhe von mindestens 1,5 Metern) mit 32 %, gefolgt von Verkehrsunfällen mit 30 % als die Prozesse, die am häufigsten eine Wirbelkörperfraktur zur Folge hatten. Weitere häufige Auslöser einer Fraktur waren „banale Stürze“ (20 %) und Sportunfälle (16 %).

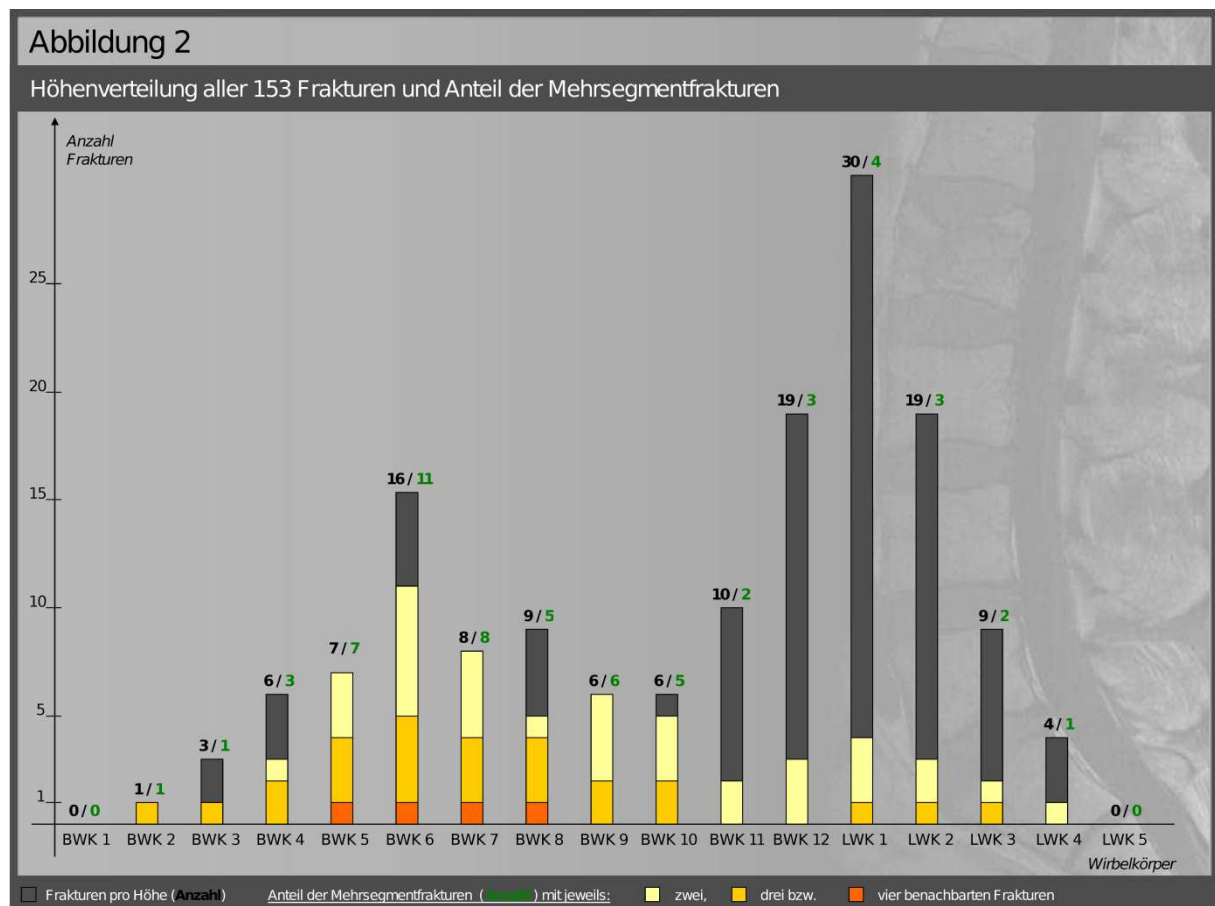


### 4.3 Spezielle Angaben zu Art und Anzahl der erlittenen Frakturen

Wie bereits erwähnt, wiesen die 100 in die Erhebung eingeschlossenen Patienten insgesamt 153 Frakturen auf. Die nachfolgenden Angaben beruhen auf einer Auswertung aller verfügbaren klinischen und diagnostischen Daten.

Bei der Höhenverteilung der verletzten Wirbel, wie sie in Abbildung 2 dargestellt wurde, ließ sich eine erhöhte Frakturhäufigkeit im Bereich des thorakolumbalen Übergangs (= TLÜ entsprechend BWK 11, BWK 12, LWK 1 und LWK 2 [BWK = Brustwirbelkörper, LWK = Lendenwirbelkörper]) und der mittleren Brustwirbelsäule (Wirbelkörper um BWK 6) feststellen. Dabei fand man im Bereich des TLÜ und der Lendenwirbelsäule (LWS) vermehrt Einzelfrakturen und in der Brustwirbelsäule (BWS) häufiger Mehrsegmentverletzungen, das heißt Brüche mehrerer angrenzender Wirbel. Dieser Zusammenhang war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ,  $\chi^2$ -Test, Erläuterung siehe Kapitel 5.4).

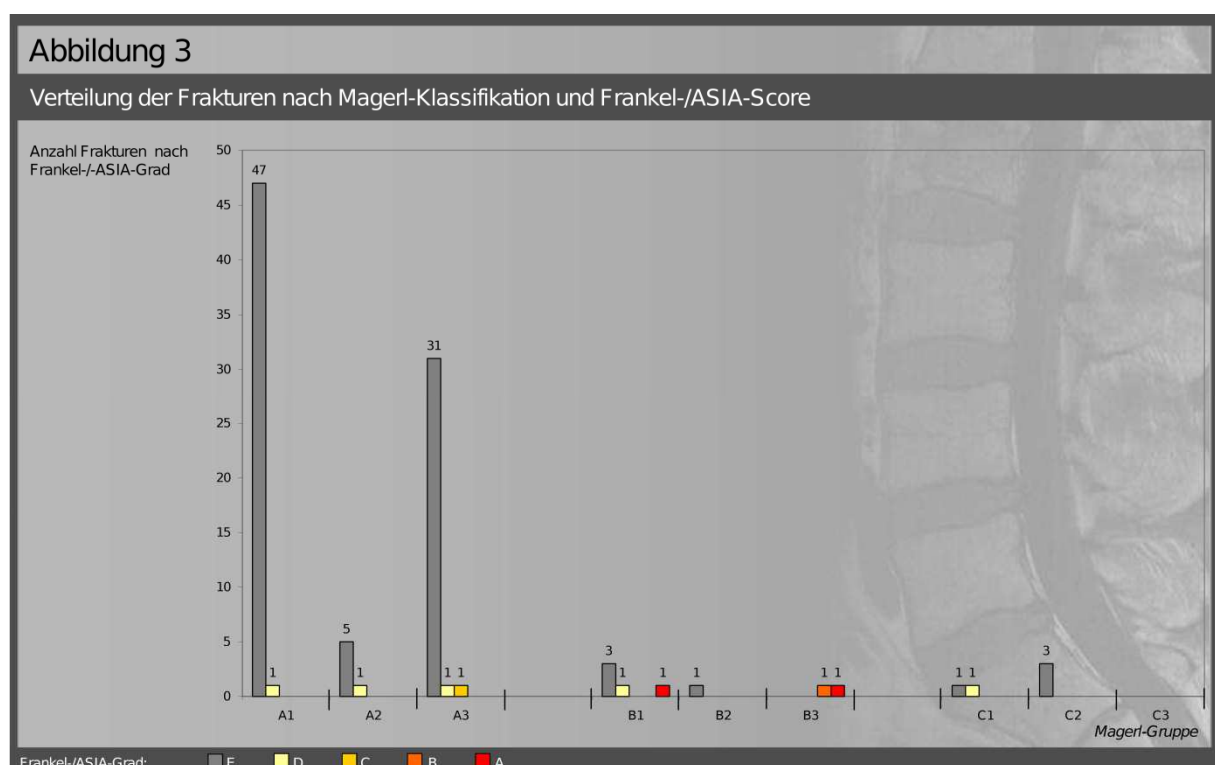
So wurden neben 68 Patienten mit einer einzelnen Wirbelkörperfraktur, 17 Personen mit zwei, 11 Personen mit drei und 3 Personen mit vier gleichzeitig gebrochenen Wirbelkörpern in die Studie aufgenommen. Bei einer Patientin wurden Frakturen von insgesamt sechs Wirbelkörpern festgestellt.



Es traten bei der Gesamtzahl der Patienten 26 Mehrsegment- und 15 Mehretagenfrakturen (Wirbelkörper- oder Mehrsegmentfrakturen sind von mindestens einem nicht gebrochenen Wirbel getrennt) auf.

Von allen Wirbelkörperbrüchen wurde die schwerste Fraktur pro Patient innerhalb der Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994 – zusätzliche Darstellung 2 und 5 im Kapitel 11) unter Einbeziehung aller verfügbaren diagnostischen Informationen eingeordnet. Dabei fanden sich 87 Patienten mit einer Typ-A-Fraktur, 7 Patienten mit einer Verletzung des Typs B und 6 Patienten mit einem Typ-C-Bruch. Die Einteilung der Wirbelbrüche in Gruppen ergab 48 Personen mit einer Fraktur der Gruppe A1 (Impaktionsbruch) und 33 Patienten mit einer Fraktur der Gruppe A3 (Berstungsbruch). Die Verteilung der weiteren Gruppen wurde in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Verteilung der Frakturen nach Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score									
Klassifizierung nach Magerl	A			B			C		
	A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	B 3	C 1	C 2	C 3
Anzahl pro Typ	87			7			6		
Anzahl pro Gruppe	48	6	33	4	2	1	3	3	0
Frankel-/ASIA-Grad	Anzahl pro Magerlgruppe								
E	47	5	31	3	1	-	1	3	-
D	1	1	1	1	-	-	1	-	-
C	-	-	1	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	1	-	-	-
A	-	-	-	1	-	1	-	-	-



Bei Aufnahme der Patienten wurden Begleitverletzungen und mögliche neurologische Ausfallserscheinungen verifiziert. Die kategorische Erfassung von Läsionen des Rückenmarks mittels Frankel-/ASIA-Score (Frankel et al. 1969, Moskopp und Wassmann 2005; zusätzliche Darstellung 1 im Kapitel 11) ergab 91 Aufgenommene mit Grad E.

7 Patienten wiesen inkomplette neurologische Ausfälle auf, wovon fünf Personen mit Grad D und je eine Person mit Grad C und Grad B eingestuft wurden. In 2 Fällen traten Symptome mit Hinweis auf eine komplette Querschnittsläsion (Frankel-/ASIA-Grad A) auf.

Bei schwerwiegenderen Frakturen nach der Magerl-Klassifikation fand sich oft auch ein höherer Grad der neurologischen Beeinträchtigung des Patienten. Dieser Zusammenhang wurde ebenfalls in Tabelle 2 dargestellt. Eine Korrelation zwischen Frankel-/ASIA-Score und der jeweils schwersten Fraktur des Patienten konnte mit einem Spearman-Rho von 0,40 ( $p < 0,01$ ; Erklärung siehe Kapitel 5.4) für die Magerl-Typen bzw. von 0,31 ( $p < 0,01$ ) für die Magerl-Gruppen belegt werden.

Eine Übersicht der Begleitverletzungen, welche vorrangig im Bereich des Kopfes, des Brustkorbs und der distalen Extremitäten auftraten, wurde in Tabelle 3 illustriert.

Tabelle 3 Begleitverletzungen					
Körperregion	Anzahl	Art der Verletzung	Anzahl	Untergruppe	Anzahl
Keine Begleitverletzung	56				
Verletzungen der Kopfes	21	Kopfplatzwunden	5		
		Kraniale Frakturen	11	Gesichtsfrakturen	7
				Schädelbasisfrakturen	2
				Zahnfrakturen	2
		Himnblutungen	4		
		Himninfarkte	1		
Verletzungen der Thorax	21	Sternumfrakturen	3		
		Rippen-(serien-)frakturen	9		
		Lungenkontusionen	9		
Verletzungen des Abdomens	6	Milzverletzungen	4	Milzkontusionen	2
				Milzrupturen	2
		Pankreasrisse	1		
		Darmrisse	1		
Verletzungen von Schultergürtel und oberer Extremität	10	Claviculafrakturen	1		
		Oberarmfrakturen	1		
		Unterarmfrakturen	6		
		Handknochenluxationen / -frakturen	2		
Verletzungen von Becken und unterer Extremität	16	Beckenfrakturen	4		
		Oberschenkelfrakturen	1		
		Unterschenkelfrakturen	4		
		Sprunggelenkfrakturen	6		
		Zehenfrakturen	1		
Halswirbelfrakturen	5				
Polytraumata	2				

## 5 Methoden

### 5.1 Röntgen-, CT- und MRT-Diagnostik

Bei Aufnahme wurde jeder der 100 Patienten mit Verdacht auf eine Verletzung der Wirbelsäule mittels Röntgen, CT und MRT untersucht. Die Anfertigung der Darstellungen geschah standardisiert jeweils vor Diagnosefestlegung und Planung der Therapie.

Da die in die Studie eingeschlossenen Patienten in 14 Fällen zuerst außerhalb des Universitätsklinikums Jena untersucht wurden und auch innerhalb des hiesigen Klinikums verschiedene Geräte Anwendung fanden, wurde die Bildgebung der Frakturen an zahlreichen Geräten unterschiedlicher Hersteller mit variierenden Parametern durchgeführt.

Primär erfolgte eine Röntgendarstellung des in Betracht kommenden Wirbelsäulenabschnittes jeweils in zwei Ebenen mit anterior-posteriorem und seitlichem Strahlengang. In 15 Fällen wurde auf eine Darstellung des betroffenen Bereichs im Nativröntgen verzichtet, da es der Gesundheitszustand des Patienten dies nicht erlaubte. Die orientierende Begutachtung der beeinträchtigten Strukturen, sowohl im diagnostischen Prozess als auch im Zuge der Datenerhebung für diese Studie, erfolgte in diesen Fällen anhand der vorliegenden Topogramme als Rekonstruktion in ebenfalls 2 Ebenen (anterior-posterior und seitlich) aus den Daten des angefertigten CTs.

Während zu Beginn der Erhebung nach der Begutachtung der Wirbelsäule im Nativröntgen eine computertomographische Darstellung der speziell frakturverdächtigen Region erfolgte, wurde im weiteren Studienverlauf zur Darstellung größerer Wirbelsäulenabschnitte mittels „Polytrauma-Spirale“ bzw. Spiral-CT gewechselt. Diese Aufnahmetechnik beinhaltete bei den eingeschlossenen Patienten computertomographische Darstellungen mit einer Schichtdicke von 1 bis 8 mm Schichtdicke (MW [= Mittelwert]: 2,5 mm).

Die MRT-Diagnostik der frakturverdächtigen Wirbelsäulenabschnitte erfolgte jeweils als sagittal und axial geschichtete Darstellung. Diese geschah in den Wichtungen T1 und T2 (für T1: TR [= Repetitionszeit] von 500 bis 793 ms [MW: 632 ms] und TE [= Echozeit] von 11 bis 14 ms [MW: 13 ms] für sagitale und TR von 450 bis 875 ms [MW: 542] und TE von 10 bis 15 ms [MW: 11 ms] für axiale Schichtungen;

für T2: TR von 1580 bis 5920 ms [MW: 4210 ms] und TE von 100 bis 1250 ms [MW: 139 ms] für sagitale und TR von 2525 bis 7740 ms [MW: 5808 ms] und TE von 12 bis 150 ms [MW: 120 ms] für axiale Schichtungen) mit einer Schichtdicke von 3,3 bis 5,2 mm (MW: 4,3 mm) für sagitale und von 2,4 bis 5,6 mm (MW: 4,7 mm) für axiale Schichtungen.

## 5.2 Auswertung der Röntgen-, CT- und MRT-Bilder

Anschließend erfolgte die Auswertung der gesammelten Bilddaten in zwei unabhängigen Studienzweigen. Im Studienzweig A beurteilte ein Gutachter die Darstellungen aus Nativröntgen und CT. Im Studienzweig B wurden dieselben Wirbelsäulenveränderungen im Nativröntgen und MRT durch einen weiteren Gutachter bewertet. Zwei Wirbelsäulenchirurgen der Klinik für Neurochirurgie des Klinikums der Friedrich-Schiller-Universität Jena mit mehr als 200 stabilisierenden Eingriffen an Brust- und Lendenwirbelsäule und großer Erfahrung im damit verbundenen Prozess zur Diagnosefindung und Therapieplanung nahmen diese Aufgabe wahr.

Die Frakturbeurteilung zielte in beiden Zweigen auf eine Einstufung der Wirbelverletzung in die Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994).

Dieser Klassifizierung ging in beiden Zweigen eine Begutachtung bestimmter Frakturmerkmale voraus, die zum Beginn der Studie als eine Vereinigungsmenge aller frakturrelevanten und im Nativröntgen und CT ersichtlichen Merkmale aller Frakturtypen festgelegt wurde. Zur standardisierten Auswertung und Dokumentation stand Auswertern für die Beurteilung der Frakturmerkmale und für die Klassifizierung nach Magerl et al. je ein Bogen zur Verfügung. Die beiden Auswertungsbögen wurden in Kapitel 11 angehängt (Darstellungen 2 und 3).

Im Studienzweig B (Röntgen und MRT) schloss sich der Klassifizierung nach Magerl et al. die Beurteilung MRT-spezifischer Merkmale an, welche ursprünglich von Oner et al. vorgeschlagen und für diese Studie überarbeitet wurde (Oner et al. 1999 b). Eine erklärende visuelle und verbale Einteilung wurde in einen gesonderten Auswertungsbogen integriert und konnte so vom Begutachter zu jeder Frakturbeurteilung eingesehen werden. Auch dieser Bogen wurde im Anhang hinterlegt (Kapitel 11 – Darstellungen 4a und 4b).

Zu jenen MRT-spezifischen Merkmalen gehörten die Verletzungsgrade des Ligamentum longitudinale anterius (ALL) bzw. posterius (PLL) und des hinteren Bandkomplexes (PLC), der auch das Ligamentum flavum sowie das Ligamentum inter- und supraspinosum einschließt. Außerdem sollten die Deck- (EP CR) und Grundplatte (EP CA) des bebrochenen Wirbelkörpers, die kranialen bzw. kaudalen Bandscheiben (DI CR bzw. DI CA) und das Wirbelkörperödem (COR) beurteilt werden. Bei jedem Frakturmerkmal war die Einstufung in drei bis fünf Verletzungsgrade möglich, welche zur leichteren Abgrenzung gegenüber anderen Einteilungen als Stati bezeichnet wurden. Der Betrachter konnte den minimalen Status vergeben (Status 1 bzw. 0 für EP CR und EP CA), wenn die betreffende Struktur keine bzw. eine minimale Läsion aufwies. Der maximale Status (3 bzw. 4) beschrieb einen Zustand

höchster Verletzung. Letzteres drückte bei Bändern, wie dem ALL, PLL und PLC, die Darstellung einer Zerreißung aus. Bei Deck- bzw. Grundplatten und Bandscheiben wurde mit dem maximalen Status eine Läsion im gesamten Volumen der Struktur ausgedrückt. Mit einem mittleren Status wurden ALL und PLL bewertet, wenn sie sich als gedehnt, jedoch nicht als zerrissen darstellten. PLC 2 stand für eine Verletzung mit einem Ödem im hinteren ligamentären Komplex ohne Verlängerung des Abstandes der Processi inter-spinosi, während sich beim Status PLC 3 Ödem und Abstandsverlängerung fanden. Bei der Beurteilung der Deck- bzw. Grundplatte und der Bandscheiben charakterisierte der Status 2 eine Läsion ausschließlich in der vorderen Hälfte und der Status 3 eine Läsion der hinteren Hälfte der Struktur. Abweichend von der Oner-Klassifikation wurde die Einteilung der Deck- und Grundplattenläsionen um einen weiteren Status (EP CR 0 bzw. EP CA 0) ergänzt, weil Oner et al. den Status 1 bereits mit dem Zustand einer plastischen Deformität der Deck- bzw. Grundplatte belegt hatten. EP CR 0 und EP CA 0 stellten so einen Status ohne Veränderungen im betreffenden Bereich dar. COR bezeichnete das Ausmaß eines Ödems, welches bei COR 1 weniger als  $\frac{1}{3}$  und bei COR 3 mehr als  $\frac{2}{3}$  des Wirbelkörpervolumens betraf, während COR 2 dem Zwischenzustand entsprach.

Im Rahmen der Begutachtung MRT-spezifischer Merkmale erfolgte zudem die Lokalisation eventuell dargestellter Ödeme anderer betroffener Wirbel (CORx) und Hämatome.

Die Bilder der zu begutachtenden Patienten wurden zuvor mit einem Präsentationsprogramm anonymisiert, mit Hilfe einer Kombination aus Initialen und Fallnummer der Person kodiert, geordnet und dem jeweiligen Gutachter in mehreren Sitzungen vorgeführt. Hierbei fand Microsoft® Office PowerPoint® 2003 Anwendung. Die Betrachtung erfolgte an hochauflösenden Monitoren (Betrachtungsstationen der Kategorie B), wie sie im Universitätsklinikum Jena auch routinemäßig im diagnostischen Prozess genutzt werden.

Im Zuge der Demonstration wurden von jedem Patienten zunächst nur die Röntgenbilder der frakturverdächtigen Wirbelsäulenregion gezeigt. Dabei schätzte der Begutachter vor allem die Ausprägung der Frakturmerkmale im zuvor erwähnten Auswertungsbogen (Kapitel 11 – Darstellung 3) ein. Es folgte die Beurteilung der Frakturmerkmale im gleichen Bogen nach zusätzlicher Präsentation der CT-Bilder Studienzweig A und der MRT-Bilder im Studienzweig B. Dann wurde die Klassifizierung der vorliegenden Fraktur nach Magerl et al. angeschlossen (Kapitel 11 – Darstellung 2). Im Zweig B (Röntgen und MRT) erfolgte danach die Beurteilung der Frakturmerkmale nach Oner et al. (Kapitel 11 – Darstellungen 4a und 4b).

Fanden sich bei einem Patienten mehrere Frakturen, so wurden mindestens die diagnose- und therapierelevanten Verletzungen bewertet und weitere Verletzungen zum Teil nur erwähnt. Beiden Gutachtern war es möglich, nach der Präsentation der Bilddaten innerhalb der vorgeführten Darstellungen eines Patienten beliebig und ohne Zeitbegrenzung zu blättern und zu vergleichen, um die gefragten Entscheidungen zu fällen. Außerdem war während der gesamten Sitzung zwecks Einordnung in die Magerl-Klassifikation ein entsprechendes Schema in Worten und Beispielbildern einsehbar (Kapitel 11 – Darstellung 5).

### **5.3 Methoden zur Datenerhebung**

Parallel zur Betreuung der Patienten wurden neben wichtigen Stammdaten (Geburtsdatum, Alter, Geschlecht, Wohnort) auch Informationen zu Anamnese und Klinik (Aufnahmezeitpunkt und -modus, Unfallhergang und -zeitpunkt, Begleitverletzungen und -Symptome, Neurologischer Status), zu Arbeitsdiagnose und Therapie sowie zum stationären Verlauf und zu gelaufenen Nachsorgeuntersuchungen in einer Datenbank dokumentiert. Eine umfassende Informationserhebung war via Intranet über die an der Universitätsklinik Jena genutzte elektronische Patientenverwaltung (SAP, FoxPro) und durch die Auswertung der Patientenakten möglich. So waren auch Anamnesebögen, OP-Berichte und Anästhesieprotokolle, ITS-Akten und Patientenkurven sowie Arzt- und Patientenbriefe disponibel.

### **5.4 Statistische Methoden**

Aufgrund der Anwendung ordinaler Einteilungen in der Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994), der Strukturbeurteilung nach Oner (Oner et al. 1999) und der Einschätzung der neurologischen Ausfälle nach dem Frankel-/ASIA-Score (Frankel et al. 1969, Moskopp und Wassmann 2005) wurden die Zusammenhänge zwischen diesen Skalen mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman beschrieben (Trampisch et al. 2000).

Die Beschreibung von Interobserverreliabilitäten erfolgte wiederholt mit dem Maß des Cohens Kappa (Blauth et al. 1999, Kriek und Govender 2006, Oner et al. 2002 a). In dieser Dissertationsstudie wurde das Maß zum Vergleich der Klassifizierung nach Magerl et al. zwischen den beiden Studienzweigen und mit anderen Studien eingesetzt. Dabei entsprechen Ergebnisse  $< 0$  einer schlechten, von 0 bis 0,2 einer leichten, von 0,21 bis 0,4 einer befriedigenden, von 0,41 bis 0,6 einer moderaten, von 0,61 bis 0,8 einer beträchtlichen und über 0,81 einer exzellenten Reliabilität (Landis und Koch 1977).

Als Maß der diagnostischen Aussagekraft des MRTs zur Merkmalsbeurteilung konnten die Ergebnisse aus Studienzweig B (Röntgen und MRT) den Ergebnissen aus Studienzweig A (Röntgen und CT) zur Berechnung einer relativen Sensitivität und Spezifität gegenübergestellt werden.

Zudem wurde in beiden Studienzweigen das Auftreten bestimmter Frakturmerkmale überprüft. Ob ein bestimmtes Merkmal statistisch häufiger mit einem anderen Merkmal auftrat, konnte im  $\chi^2$ -Test nachvollzogen werden (Trampisch et al. 2000)

Für die dazu benötigten Kalkulationen fand SPSS 15.0 für Windows der Firma SPSS GmbH Software Anwendung.



## 6 Klinische Ergebnisse

Bei allen Patienten, die in die Promotionsstudie eingeschlossen wurden, konnte ein höchstwahrscheinlich frakturauslösendes Trauma benannt werden. Dieses ereignete sich durchschnittlich 1,2 Tagen vor der stationären Aufnahme in der Universitätsklinik Jena (Median: 0 Tage, Minimum: 0 Tage, Maximum: 26 Tage). Ein Patient war im Zusammenhang eines chronischen Alkoholmissbrauchs gestürzt und konnte den Zeitpunkt des Unfalls nicht genauer angeben (wahrscheinlich zwei Wochen vor der Aufnahme). Ursachen für eine späte stationäre Einweisung waren begleitende Frakturen, welche zuvor in anderen Einrichtungen versorgt worden waren, aber auch geringe Beschwerden und schlechte Compliance.

22 der 100 aufgenommenen Patienten wurden nach Diagnosestellung konservativ mittels Korsett, Schmerztherapie und Krankengymnastik behandelt. In 78 Fällen wurde die operative Stabilisierung der Fraktur eingeleitet. Dabei entschied man sich nach der Beurteilung von 13 Wirbelsäulenverletzungen für die alleinig dorsale Stabilisierung, während der ausschließlich anteriore Zugang bei keinem der Patienten Anwendung fand. Allerdings sind in den erstgenannten Fällen 6 Patienten eingeschlossen, bei welchen im Verlauf der Operation die Ausräumung der zerstörten Bandscheibe und eine Einbringung von Beckenkammspan oder Tutobone® Xenogene Spongiosa der Tutogen Medical GmbH über den posterioren Zugang erfolgte. Einmalig fand dabei auch ein Surgical Titanium Mesh Implantat der Firma DePuy International Anwendung. Ein Patient wurde zweimalig über einen posterioren Zugang in verschiedenen Etagen behandelt.

Die 65 verbleibenden Fälle, bei denen eine kombiniert anterior-posteriore Therapie eingeleitet wurde, gliederten sich in 2 Fälle mit einzeitiger Operation und 63 Fälle, bei denen man die anteriore und die posteriore Stabilisierung in zwei getrennten Sitzungen vollzog. Zur zuletzt genannten Gruppe gehörten auch 3 Patienten, bei denen die Stabilisierung von Mehretagenfrakturen auf zwei Höhen jeweils drei Sitzungen erforderte und ein Patient, der nach dorsaler Stabilisierung aufgrund erhöhter Risiken des anterioren Vorgehens mittels dorsolateraler Spondylodese behandelt wurde. Außerdem entschied man sich bei einer Person dafür, im Rahmen der ersten Operation eine Stabilisierung auf zwei Etagen dorsal und gleichzeitig auf der unteren Etage eine Behandlung mittels Cage im Bandscheibenraum durchzuführen, während die vordere Stabilisierung der oberen Etage erst in einer zweiten Sitzung erfolgte.

Zwecks dorsaler Stabilisierung fand der Fixateur interne des Uniflex Spine Systems der Firma Dieter Marquardt Medizintechnik GmbH mit 54,3 % am häufigsten Anwendung, gefolgt vom

Fixateur interne aus dem Xia<sup>TM</sup> Spinal System der Firma Stryker<sup>®</sup> mit 37,0 %. Jeweils einmalig wurde ein Fixateur interne des Systems Diapason<sup>®</sup> der Firma Stryker<sup>®</sup>, des Systems USS Universal Spine der Firma Synthes<sup>®</sup> und des Systems TSRH-3D<sup>®</sup> Spinal Instrumentation der Firma Medtronic Sofamor Danek, sowie der Typ Krypton<sup>TM</sup> der Firma Ulrich Medical<sup>®</sup> zur dorsalen Stabilisierung genutzt. Beim anterioren Vorgehen wurden zu 65,2 % Synex<sup>TM</sup>-Titanspreizkörper der Firma Synthes<sup>®</sup>, zu 18,2 % Tutobone<sup>®</sup> Xenogene Spongiosa der Tutogen Medical GmbH, zu 10,6 % autologer Beckenkammspan, zu 4,6 % Surgical Titanium Mesh Implantate von DePuy International LTD und zu 1,5 % Ogival Interbody Cage Implantate der Firma Synthes<sup>®</sup> eingesetzt. Diese anterioren Stabilisierungsmaterialien wurden in insgesamt 37 Fällen mit anderen Stoffen kombiniert (meist bei Titanspreizelementen). Dies erfolgte in 83,8 % mit autologem, zuvor exzidierten, Wirbelkörperknochen, in 8,1 % mit Tutobone<sup>®</sup> Xenogene Spongiosa, in 5,4 % mit autologem Beckenkammspan und je einmalig mit autologem Knochen einer zuvor entfernten Rippe bzw. synthetischem Knochen ChronoOS der Firma Synthes<sup>®</sup>.

Der Prozess der Diagnosefindung und Operationsplanung von der stationärer Aufnahme bis zur ersten Operation dauerte durchschnittlich 2,5 Tage (Median: 2 Tage, Minimum: 0 Tage, Maximum: 20 Tage). Das initiale MRT wurde im Mittelwert von 0,6 Tagen nach der Aufnahme des Patienten durchgeführt (Median: 0 Tage, Minimum: -1 Tag [Durchführung der Bildgebung bereits im überweisenden Krankenhaus], Maximum: 10 Tage). Der Zeitraum vom Trauma bis zur Anfertigung des initialen MRTs betrug im Mittel 1,8 Tage (Median: 0 Tage, Minimum: 0 Tage, Maximum: 26 Tage), worauf bei entsprechender Therapieentscheidung nach durchschnittlich 1,9 Tagen der jeweils erste operative Eingriff stattfand (Median: 1 Tag, Minimum: 0 Tage, Maximum: 20 Tage). Die Bildgebung mittels Nativröntgen erfolgte im Mittel 0,06 Tage (Median: 0 Tage, Minimum: -4 Tage, Maximum: 7 Tage), die computertomographische Darstellung im Mittel -0,07 Tage nach Aufnahme in unserer Klinik (Median: 0 Tage, Minimum: -3 Tage, Maximum: 3 Tage).

Verzögerungen im diagnostischen Ablauf, welche aus diesen Daten geschlossen werden können, begründeten sich mit einer Mehrfachverletzung der jeweiligen Patienten, welche im Sinne eines interdisziplinären Gesamtkonzeptes durch zu diesem Zeitpunkt notwendige Maßnahmen die neurochirurgische Behandlung verzögerten. Bei 2 Patienten war die Durchführung der MRT-Bildgebung einer Wirbelsäulenetage erst nach operativer Versorgung einer anderen Wirbelsäulenetage möglich. Somit flossen allein die Ergebnisse des im MRT dargestellten Wirbelsäulenabschnittes in die Studie ein.

## **6.1 Allgemeine und spezielle Frakturmerkmale im Röntgen und CT**

Bei den insgesamt 124 im Computertomogramm bewerteten Frakturen der 100 zu beurteilenden Patienten fand sich in der Höhenverteilung ein Maximum bei LWK 1 mit 26 Frakturen gefolgt von BWK 12 und LWK 2 mit je 19 Frakturen. Eine weitere Häufung fand sich um BWK 6 mit 9 Wirbelkörperbrüchen. Diese Angaben wurden im Vergleich zur Höhenverteilung der im MRT bewerteten Frakturen in Abbildung 13 (Kapitel 6.3) illustriert.

Hinsichtlich der Magerl-Klassifikation (zusätzliche Darstellung 2 – Kapitel 11) eruierte der Begutachter 118 Kompressionsfrakturen (Typ A), 5 Distraktionsfrakturen (Typ B) und eine Torsionsfraktur (Typ C), wobei sich die Typ-A-Verletzungen weiter in 48 Impaktions- (Gruppe A1), 19 Spalt- (Gruppe A2) und 51 Berstungsbrüche (Gruppe A3) untergliederten. Die am häufigsten notierte Subgruppe stellten die kranialen Keilbrüche (Subgruppe A 1.2.1) mit 36 Frakturen, gefolgt von den kranialen inkompletten Berstungsbrüchen (Subgruppe A 3.1.1) mit 24 Frakturen und den kranialen Berstungsspaltbrüchen (Subgruppe A 3.2.1) mit 19 Frakturen dar. Darauf folgten die sagittalen und frontalen Spaltbrüche (Subgruppe A 2.1 und 2.2) mit einer Anzahl von 10 bzw. 9 Wirbelerletzungen. Weitere Ergebnisse zur Klassifizierung nach Magerl et al. und die assoziierten neurologischen Ausfälle nach dem Frankel-/ASIA-Score wurden in Tabelle 4 veranschaulicht.

Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman bezüglich des Zusammenhangs zwischen Frankel-/ASIA-Score und der jeweils schwersten Fraktur eines Patienten nach der Magerl-Klassifikation betrug 0,37 ( $p \leq 0,01$ ) bezüglich des Frakturtyps und 0,23 ( $p \leq 0,05$ ) bezüglich der Frakturgruppe.

Die Einschätzung der einzelnen Frakturmerkmale im CT zeigte hinsichtlich der Veränderungen der Wirbelsäulenachse häufig eine Abknickung in der Sagittalebene (meist Kyphosierung). Dieses Merkmal trat überdurchschnittlich häufig bei Typ A und B nach Magerl et al. (54,2 % bei Kompressionsbrüchen bzw. 80,0 % bei Distraktionsfrakturen), sowie in der Magerl-Gruppe A3 (66,7 % bei Berstungsbrüchen) auf. Auch 50 % aller Frakturen in Gruppe A1 (Impaktionsbrüche) erfüllten dieses Kriterium.

Am Wirbelkörper selbst fanden sich vermehrt ein Höhenverlust und eine keilförmige Deformierung, sowohl insgesamt als auch innerhalb der einzelnen Magerl-Typen und -Gruppen. Im Typ A wurden 83,9 % der Frakturen als höhenvermindert und 87,3 % als keilförmig verändert charakterisiert. Außerdem stellte sich die Wirbelkörperhinterwand in 39,9 % verkürzt dar. Bei 38,1 % der Frakturen wurde eine Stufe in der seitlichen Konturen

eruiert. Innerhalb der Gruppen war besonders bei den Berstungsbrüchen (Gruppe A3) sowohl ein Höhenverlust (94,1 %) als auch eine keilförmige Deformierung (96,1 %) vorhanden. Bei den Impaktionsbrüchen (Gruppe A1) wurde meist das zweitgenannte Merkmal (68,8 % mit Höhenverlust, 87,5 % mit Keilform) und bei den Spaltbrüchen (Gruppe A2) bevorzugt das erstgenannte Merkmal (94,7 % mit Höhenverlust, 63,2 % mit Keilform) charakterisiert. In der Magerl-Gruppe A3 (Berstungsbrüche) fand sich zudem verhältnismäßig häufig eine Stufenbildung der seitlichen Konturen (62,7 %).

Tabelle 4																						
Im CT bewertete Frakturen bezüglich Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score																						
Anzahl Frakturen nach Magerl klassifiziert						Frankel-Grad im Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation																
Typ	Gruppe	Subgruppe	Frankel-Grad im Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation					Frankel-Grad im Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation					Frankel-Grad im Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation									
			E	D	C	B	A	E	D	C	B	A	E	D	C	B	A					
			Bezogen auf Subgruppe					Bezogen auf Gruppe					Bezogen auf Gruppe									
A	118	A1	48	A 1.1	6	5			1		45	2		1		108	5	1	1	3		
				A 1.2.1	36	36																
				A 1.2.2	1		1															
				A 1.2.3	3	2	1															
				A 1.3	2	2																
		A2	19	A 2.1	10	9			1	16	1			2								
				A 2.2	9	7	1		1													
				A 2.3	0																	
		A3	51	A 3.1.1	24	23	1			47	2	1		1								
				A 3.1.2	0																	
				A 3.1.3	3	3																
				A 3.2.1	19	16	1	1		1												
				A 3.2.2	4	4																
				A 3.2.3	0																	
				A 3.3.1	0																	
				A 3.3.2	0																	
				A 3.3.3	1	1																
B	5	B1	3	B 1.1.1	0					1	1		1		2	1		1	1			
				B 1.1.2	0																	
				B 1.1.3	0																	
				B 1.2.1	2		1		1													
				B 1.2.2	1	1																
		B2	2	B 1.2.3	0																	
				B 2.1	0					1				1								
				B 2.2.1	0																	
				B 2.2.2	0																	
				B 2.3.1	2	1			1													
		B3	0	B 2.3.2	0																	
				B 3.1.1	0																	
				B 3.1.2	0																	
				B 3.2	0																	
				B 3.3	0																	
C	1	C1	1	C 1.1	0					1					1							
				C 1.2.1	0																	
				C 1.2.2	0																	
				C 1.2.3	0																	
				C 1.2.4	0																	
				C 1.3.1	0																	
				C 1.3.2	1	1																
				C 1.3.3	0																	
		C2	0	C 2.1.1	0																	
				C 2.1.2	0																	
				C 2.1.3	0																	
				C 2.1.4	0																	
				C 2.1.5	0																	
				C 2.1.6	0																	
				C 2.1.7	0																	
				C 2.2.1	0																	
				C 2.2.2	0																	
				C 2.2.3	0																	
				C 2.3.1	0																	
				C 2.3.2	0																	
				C 2.3.3	0																	
		C3	0	C 3.1	0																	
				C 3.2	0																	
Summe:				124	111	6	1	2	4	111	6	1	2	4	111	6	1	2	4			

Auftretende Hinterkantenfragmente wurden bei 54 der 124 beurteilten Frakturen gesehen und erschienen dabei in 50 Fällen als nur nach dorsal verlagert. Diese stellten sich bei der einzigen Rotationsverletzung, bei 2 der 5 Distraktionsbrüche und in 43,2 % der Kompressionsfrakturen

dar, wobei sie innerhalb der Typ-A-Verletzungen fast ausschließlich bei Brüchen der Gruppe A3 abgebildet wurden (96,1 % der A3-Frakturen).

Eine gehäufte Affektion des Wirbelbogens fand sich besonders bei den Typ-B-Frakturen. Hierbei waren die Bogenwurzeln oft quer gebrochen (60,0 %), die Dornfortsätze in 2 Fällen abstandsvergrößert (40,0 %) und einmalig längs gespalten (20,0 %), die Querfortsätze in 2 Fällen einseitig (40,0 %) und einmal beidseitig frakturiert (20,0 %) und die kleinen Wirbelgelenke bei 4 der 5 beurteilten Frakturen beidseitig subluxiert. Auch eine Fraktur der Interartikularportion trat zweimalig auf.

Weitere Details können Tabelle 5 entnommen werden.

Merkmal			Merkmale vorgefunden unter allen Frakturen			Merkmale vorgefunden bezüglich der Magerl-Klassifikation nach Typ (Anzahl absolut / in Prozent)			nach Gruppe (Anzahl absolut / in Prozent)		
			ja	nein	nicht beurteilbar	Typ A (gesamt 118)	Typ B (gesamt 5)	Typ C (gesamt 1)	Gruppe A1 (gesamt 48)	Gruppe A2 (gesamt 19)	Gruppe A3 (gesamt 51)
Wirbelsäulenachse	Translatorische Verschiebung (oberer Abschnitt)	nach vorne	1	123	0	0 / 0,0	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		nach hinten	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		seitlich	1	123	0	1 / 0,8	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,1	0 / 0,0	0 / 0,0
	skoliotische / seitliche Abknickung		11	113	0	10 / 8,5	1 / 20,0	0 / 0,0	5 / 10,4	0 / 0,0	5 / 9,8
		kyphotische / lordotische Abknickung "Phantomwirbel"	68	55	1	64 / 54,2	4 / 80,0	0 / 0,0	24 / 50,0	6 / 31,6	34 / 66,7
Wirbelkörper (WK)	Höhenverlust		103	21	0	99 / 83,9	3 / 60,0	1 / 100,0	33 / 68,8	18 / 94,7	48 / 94,1
		Keilförmige Deformierung	108	16	0	103 / 87,3	4 / 80,0	1 / 100,0	42 / 87,5	12 / 63,2	49 / 96,1
	I Interwand	verkürzt	50	73	1	47 / 39,9	2 / 40,0	1 / 100,0	4 / 8,3	4 / 21,1	39 / 76,5
		verlängert	1	123	0	0 / 0,0	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Ausrißfraktur an Vorder- oder Hinterkante		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Abscherung von Seitenkanten des WK	12	112	0	11 / 9,3	1 / 20,0	0 / 0,0	2 / 4,2	0 / 0,0	9 / 17,6
	Stufenbildung im Bereich der seitl. Konturen		47	77	0	45 / 38,1	1 / 20,0	1 / 100,0	4 / 8,3	9 / 47,4	32 / 62,7
Hinterkantenfragment	Nur nach dorsal verlagert		50	74	0	47 / 39,8	2 / 40,0	1 / 100,0	0 / 0,0	1 / 5,3	46 / 90,2
	Verlagerung nach dorsal und nach kranial		4	120	0	4 / 3,4	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,1	0 / 0,0	3 / 5,9
	Fragment um die Transversalachse gedreht		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Bogenwurzel	Senkrechter Abstand	verkürzt	5	117	2	4 / 3,4	1 / 20,0	0 / 0,0	3 / 6,3	1 / 5,3	0 / 0,0
		verlängert	3	119	2	2 / 1,7	1 / 20,0	0 / 0,0	1 / 2,1	1 / 5,3	0 / 0,0
	Querer Abstand	verlängert	6	116	2	6 / 5,1	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,1	0 / 0,0	5 / 9,8
			5	119	0	2 / 1,7	3 / 60,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 3,9
	Asymmetrische Darstellung		5	117	2	4 / 3,4	1 / 20,0	0 / 0,0	1 / 2,1	0 / 0,0	3 / 5,9
Lamina	Längs gespalten		10	114	0	9 / 7,6	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	9 / 17,6
	Quere Fraktur		1	123	0	0 / 0,0	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Dornfortsätze	Deutliche Vergrößerung des Abstandes		3	121	0	1 / 0,8	2 / 40,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,0
	Quere Fraktur		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Längs gespalten		2	122	0	1 / 0,8	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 5,3	0 / 0,0
Querfortsätze	Längs gespalten		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Fraktur	Einseitig	15	109	0	13 / 11,0	2 / 40,0	0 / 0,0	3 / 6,3	5 / 26,3	5 / 9,8
		Beidseitig	1	123	0	0 / 0,0	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Kleine Wirbelgelenke	Subluxation	Einseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Beidseitig	7	117	0	3 / 2,5	4 / 80,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	3 / 5,9
	Luxation	Einseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Beidseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	"leere Facette"		1	123	0	0 / 0,0	1 / 20,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Gelenkfortsätze	Asymmetrische Darstellung / einseitige Fraktur		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Beidseitige Frakturen		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Interartikularportion	Fraktur	Einseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Beidseitig	2	122	0	0 / 0,0	2 / 40,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Rippen	Luxation	Einseitig	2	122	0	2 / 1,7	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 10,5	0 / 0,0
		Beidseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Frakturen	Einseitig	2	122	0	2 / 1,7	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,1	1 / 5,3	0 / 0,0
		Beidseitig	0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Weichteilbeurteilung	Verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Verminderte Höhe des Intervertebralraumes		0	124	0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0

**Abkürzungen:** MM = Merkmale; WK = Wirbelkörper; seitl. = seitlich

**Erläuterung:** Die Prozentangaben beziehen sich auf Summe der Frakturen pro Typ bzw. Gruppe.

## 6.2 Allgemeine und spezielle Frakturmerkmale im Röntgen und MRT

Im Zuge der Auswertung der MRT-Bilder zusammen mit den Röntgendarstellungen wurden insgesamt 111 Frakturen beurteilt und klassifiziert. Dabei waren 2 der Frakturen bei der Einschätzung der Röntgenbilder zunächst gar nicht, sondern erst nach zusätzlicher Begutachtung der magnetresonanztomographischen Darstellungen aufgefallen. Bei 55 weiteren Wirbeln wurden im MRT Schädigungshinweise in Form eines Wirbelkörperödems festgestellt, was im Rahmen der Auswertung der von Oner et al. vorgeschlagenen Klassifikation erfolgte. Diesbezügliche Ergebnisse wurden am Ende des Kapitels erläutert.

Die Höhenverteilung der beurteilten Frakturen zeigte ein Maximum bei LWK 1 mit insgesamt 27 Frakturen, gefolgt von LWK 2 mit 19 und BWK 12 mit 15 Frakturen. Eine weitere Häufung von Wirbelbrüchen war in den Höhen um BWK 6 (dort 9 Frakturen) zu verzeichnen. Weitere Zusammenhänge wurden in Abbildung 13 (Kapitel 6.3) dargestellt.

Von den 111 beurteilten Frakturen wurden 96 dem Typ A, 8 dem Typ B und 7 dem Typ C der Magerl-Klassifikation zugeordnet.

Innerhalb der Kompressionsverletzungen fanden sich 55 Frakturen der Gruppe A1, 6 Frakturen der Gruppe A2 und 35 Frakturen der Gruppe A3. Nach den Häufigkeiten geordnet bestanden die Typ-A-Verletzungen zu einem großen Teil aus kranialen Keilbrüchen (Subgruppe A 1.2.1 mit 34 Frakturen) und Wirbelkörperimpaktionsbrüchen (Subgruppe A 1.3 mit 16 Frakturen), gefolgt von kompletten axialen Berstungsbrüchen (Untergruppe A 3.3.3 mit 10 Frakturen) sowie kranialen inkompletten und Kneifzangenberstungsbrüchen (Subgruppen A 3.1.1 und A 3.3.1 mit je 8 Frakturen).

Weitere Details der Frakturverteilung und deren Zusammenhang mit dem neurologischen Status des jeweiligen Patienten wurden in Tabelle 6 dargestellt. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman beim Zusammenhang zwischen Frankel-/ASIA-Score und der jeweils schwersten Fraktur eines Patienten bezüglich der Magerl-Klassifikation betrug 0,38 ( $p \leq 0,01$ ) hinsichtlich des Frakturtyps und 0,30 ( $p \leq 0,01$ ) hinsichtlich der Frakturgruppe.

Auch im MRT zeigte sich bei der Beurteilung der Frakturmerkmale eine gehäufte Deformierung der Wirbelsäulenachse in der Sagitalebene, welche dabei mit zunehmender Schwere der Fraktur in der Magerl-Klassifikation auch vermehrt festgestellt wurde. Insgesamt fand sich bei 49,0 % der Typ-A-, 50,0 % der Typ-B- und 57,1 % der Typ-C-Brüche dieses

Merkmal. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zeigte lediglich einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Magerl-Klassifikation und einer skoliotischen Verformung bzw. einer Translation nach hinten oder seitlich sowie einem Malalignment an sich (Translation, Verformung in der Frontal- oder Sagitalebene). Generell waren solche Korrelationen wenig ausgeprägt, jedoch im Studienzweig B (Röntgen und MRT) stärker als im Studienzweig A (Röntgen und CT). Dies wurde ausführlich in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 6																				Im MRT bewertete Frakturen bezüglich Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score											
Anzahl Frakturen nach Magerl klassifiziert										Frankel-Grad im Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation																					
Typ		Gruppe		Subgruppe		E D C B A				E D C B A				E D C B A																	
						Bezogen auf Subgruppe				Bezogen auf Gruppe				Bezogen auf Gruppe																	
A	96	A1	55	A 1.1	3	2			1		52	2		1		88	4	1	1												
				A 1.2.1	34	34																									
				A 1.2.2	0																										
				A 1.2.3	2	1	1																								
				A 1.3	16	15	1																								
		A2	6	A 2.1	1		1			5	1																				
				A 2.2	1	1																									
				A 2.3	4	4																									
		A3	35	A 3.1.1	8	8				33	1	1																			
				A 3.1.2	2	2																									
				A 3.1.3	1	1																									
				A 3.2.1	5	5																									
				A 3.2.2	0																										
				A 3.2.3	0																										
				A 3.3.1	8	7	1																								
				A 3.3.2	1	1																									
				A 3.3.3	10	9		1																							
B	8	B1	5	B 1.1.1	1	1				4	1				5	1		1	1												
				B 1.1.2	0																										
				B 1.1.3	0																										
				B 1.2.1	3	2	1																								
				B 1.2.2	1	1																									
				B 1.2.3	0																										
		B2	2	B 2.1	0					1				1																	
				B 2.2.1	0																										
				B 2.2.2	0																										
				B 2.3.1	1				1																						
				B 2.3.2	1	1																									
				B 3.1.1	0						1																				
		B3	1	B 3.1.2	1				1																						
				B 3.2	0																										
				B 3.3	0																										
C	7	C1	4	C 1.1	3	2			1	2	1			1	5	1			1												
				C 1.2.1	0																										
				C 1.2.2	0																										
				C 1.2.3	0																										
				C 1.2.4	0																										
				C 1.3.1	1		1																								
				C 1.3.2	0																										
				C 1.3.3	0																										
		C2	3	C 2.1.1	1	1				3																					
				C 2.1.2	0																										
				C 2.1.3	2	2																									
				C 2.1.4	0																										
				C 2.1.5	0																										
				C 2.1.6	0																										
				C 2.1.7	0																										
				C 2.2.1	0																										
				C 2.2.2	0																										
				C 2.2.3	0																										
				C 2.3.1	0																										
				C 2.3.2	0																										
				C 2.3.3	0																										
		C3	0	C 3.1	0																										
				C 3.2	0																										
Summe:					111	100	6	1	2	2	100	6	1	2	2	98	6	1	2	2											

Bei nahezu allen gebrochenen Wirbelkörpern zeigte sich ein Höhenverlust und eine keilförmige Deformierung. Alle Typ-C-Verletzungen waren bezüglich dieser Merkmale positiv. Auch bei Typ B fanden sie sich jeweils in 87,5 % der Fälle. Typ-A-Frakturen wiesen in 93,8 % einen Höhenverlust und in 77,1 % eine keilförmige Deformierung auf. Eine

Reduktion der Wirbelkörperhöhe fand sich auch bei 92,7 % der A1-, 66,7 % der A2- und 100,0 % der A3-Frakturen. Auch eine Keilform trat häufig auf (72,7 % in Subgruppe A1; 50,0 % in Subgruppe A2 und 88,6 % in Subgruppe A3).

Dislozierte Vorder-, Hinter- oder Seitenkantenfragmente fanden sich in allen Typen. Eine Abscherung der Vorder- bzw. Hinterkante wurde oft bei Kompressionsverletzungen (57,3 %) beschrieben. Distraktions- und Torsionsverletzungen wiesen auch Seitenkantenabscherungen auf. Innerhalb der Magerl-Gruppen wurden besonders bei Berstungsbrüchen Hinterkantenfragmente gesehen, welche zu 45,7 % nach dorsal und in 48,6 % nach dorsal und kranial verlagert waren. Auch im Typ B wurden in 50,0 % Dislokationen dieses Fragmentes nach dorsal und kranial dargestellt. Typ-C-Verletzungen zeigten in je 42,9 % Verlagerungen der Hinterkante nach dorsal oder eine Drehung in der Transversalachse.

Bei der Beurteilung der Bogenwurzeln war ein gehäuftes Auftreten von senkrechten Abstandsverkürzungen, queren Frakturen und asymmetrischen Darstellungen zu verzeichnen, deren Auftreten innerhalb der Magerl-Typen anstieg und beim Typ A verstärkt bei Berstungsbrüchen notiert wurde.

Tabelle 7		Korrelation des Malalignements mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT					
Korrelation von Alignment-merkmal	Zur Magerl-Klassifikation	MRT Spearman's Rho	p-Wert	Signifikanz	CT Spearman's Rho	p-Wert	Signifikanz
Auftreten eines Malalignements	Typ	0,25	0,010	≤ 0,01	0,03	0,685	-
	Gruppe	0,38	0,000	≤ 0,01	0,16	0,084	-
Translation nach vorne	Typ	0,22	0,019	≤ 0,05	0,34	0,000	≤ 0,01
	Gruppe	0,15	0,115	-	0,16	0,072	-
Translation nach hinten	Typ	0,29	0,002	≤ 0,01	nicht beobachtet		
	Gruppe	0,33	0,000	≤ 0,01			
Translation seitlich	Typ	0,44	0,000	≤ 0,01	-0,20	0,823	-
	Gruppe	0,39	0,000	≤ 0,01	-0,10	0,256	-
Skoliotische / seitliche Abknickung	Typ	0,61	0,000	≤ 0,01	0,06	0,503	-
	Gruppe	0,44	0,000	≤ 0,01	0,02	0,851	-
Kyphotische / lordotische Abknickung	Typ	0,03	0,741	-	0,05	0,588	-
	Gruppe	0,28	0,058	-	0,17	0,059	-

Kleinere knöcherne Anteile der Wirbel wie Laminae, Dorn- und Querfortsätze, kleine Wirbelgelenke, Gelenkfortsätze und die Interartikularportionen erschienen im MRT selten auffällig, ebenso wie die Rippen. Am häufigsten wurden Veränderungen dieser Merkmale bei Torsionsverletzungen, gefolgt von den Distraktionsverletzungen notiert. Ausnahme dieser Reihenfolge stellte ein Maximum des Auftretens von Abstandsvergrößerungen der Dornfortsätze mit 62,5 % bei Typ B dar. Ein relativ hoher und innerhalb der Magerl-Typen und Gruppen steigender Anteil von Weichteilveränderungen wurde festgestellt. Diese und weitere Ergebnisse bezüglich der Frakturmerkmale im Studienzweig B (Röntgen und MRT) und deren Zusammenhang mit der Magerl-Klassifikation wurden in Tabelle 8 weiter veranschaulicht.



**Tabelle 8** Frakturmerkmale im MRT und Zusammenhang mit der Magerl-Klassifikation

Merkmal			Merkmale vorgefunden unter allen Frakturen			Merkmale vorgefunden bezüglich der Magerl-Klassifikation nach Typ (Anzahl absolut / in Prozent)			nach Gruppe (Anzahl absolut / in Prozent)		
			ja	nein	nicht beurteilbar	Typ A (gesamt 96)	Typ B (gesamt 8)	Typ C (gesamt 7)	Gruppe A1 (gesamt 55)	Gruppe A2 (gesamt 6)	Gruppe A3 (gesamt 35)
Wirbelsäulenachse	Translatorische Verschiebung (oberer Abschnitt)	nach vorne	1	110	0	0 / 0,0	1 / 12,5	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		nach hinten	8	103	0	4 / 4,2	3 / 37,5	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	4 / 11,4
		seitlich	8	102	1	3 / 3,1	1 / 12,5	4 / 57,1	0 / 0,0	0 / 0,0	3 / 8,6
	skoliotische / seitliche Abknickung		11	98	2	3 / 3,1	1 / 12,5	7 / 100,0	1 / 1,8	0 / 0,0	2 / 5,7
		kyphotische / lordotische Abknickung	55	56	0	47 / 49,0	4 / 50,0	4 / 57,1	22 / 40,0	2 / 33,3	23 / 65,7
	"Phantomwirbel"		0	102	9	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Wirbelkörper (WK)	Höhenverlust		104	7	0	90 / 93,8	7 / 87,5	7 / 100,0	51 / 92,7	4 / 66,7	35 / 100,0
	Keilförmige Deformierung		88	23	0	74 / 77,1	7 / 87,5	7 / 100,0	40 / 72,7	3 / 50,0	31 / 88,6
	Hinterwand	verkürzt	37	74	0	29 / 30,2	3 / 37,5	5 / 71,4	6 / 10,9	1 / 16,7	22 / 62,9
		verlängert	5	106	0	5 / 5,2	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 3,6	0 / 0,0	3 / 8,6
	Ausrißfraktur an Vorder- oder Hinterkante		64	46	1	55 / 57,3	4 / 50,0	5 / 71,4	25 / 45,5	2 / 33,3	28 / 80,0
	Abscherung von Seitenkanten des WK		29	79	3	21 / 21,9	4 / 50,0	4 / 57,1	3 / 5,5	0 / 0,0	18 / 51,4
	Stufenbildung im Bereich der seitl. Konturen		7	98	6	3 / 3,1	2 / 25,0	2 / 28,6	1 / 1,8	0 / 0,0	2 / 5,7
Hinterkantenfragment	Nur nach dorsal verlagert		21	89	1	18 / 18,8	0 / 0,0	3 / 42,9	0 / 0,0	2 / 33,3	16 / 45,7
	Verlagerung nach dorsal und nach kranial		23	87	1	18 / 18,8	4 / 50,0	1 / 14,3	1 / 1,8	0 / 0,0	17 / 48,6
	Fragment um die Transversalachse gedreht		6	97	8	2 / 2,1	1 / 12,5	3 / 42,9	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 5,7
Bogenwurzel	Senkrechter Abstand	verkürzt	22	81	8	13 / 13,5	3 / 37,5	6 / 85,7	3 / 5,5	0 / 0,0	10 / 28,6
		verlängert	3	100	8	0 / 0,0	2 / 25,0	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Querer Abstand	verkürzt	4	101	6	1 / 1,0	1 / 12,5	2 / 28,6	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,9
		verlängert	23	82	6	13 / 13,5	5 / 62,5	5 / 71,4	2 / 3,6	0 / 0,0	11 / 31,4
	Asymmetrische Darstellung		38	69	4	27 / 28,1	5 / 62,5	6 / 85,7	8 / 14,5	0 / 0,0	19 / 54,3
Lamina	Längs gespalten		3	106	2	1 / 1,0	1 / 12,5	1 / 14,3	1 / 1,8	0 / 0,0	0 / 0,0
	Quere Fraktur		6	103	2	3 / 3,1	2 / 25,0	1 / 14,3	1 / 1,8	0 / 0,0	2 / 5,7
Dornfortsätze	Deutliche Vergrößerung des Abstandes		10	85	16	2 / 2,1	5 / 62,5	3 / 42,9	1 / 1,8	0 / 0,0	1 / 2,9
	Quere Fraktur		2	93	16	0 / 0,0	1 / 12,5	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	Längs gespalten		0	95	16	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Querfortsätze	Längs gespalten		2	97	12	0 / 0,0	1 / 12,5	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Einseitig	7	92	12	3 / 3,1	2 / 25,0	2 / 28,6	0 / 0,0	0 / 0,0	3 / 8,6
		Beidseitig	1	97	13	0 / 0,0	1 / 12,5	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Kleine Wirbelgelenke	Subluxation	Einseitig	9	100	2	5 / 5,2	2 / 25,0	2 / 28,6	0 / 0,0	0 / 0,0	5 / 14,3
		Beidseitig	3	106	2	1 / 1,0	1 / 12,5	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,9
	Luxation	Einseitig	2	107	2	0 / 0,0	2 / 25,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
		Beidseitig	1	108	2	0 / 0,0	1 / 12,5	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
	"Leere Facette"		0	108	3	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Gelenkfortsätze	Asymmetrische Darstellung / einseitige Fraktur		12	91	8	5 / 5,2	3 / 37,5	4 / 57,1	0 / 0,0	0 / 0,0	5 / 14,3
	Beidseitige Frakturen		2	100	9	1 / 1,0	1 / 12,5	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,9
Interartikularportion	Fraktur	Einseitig	4	98	9	2 / 2,1	1 / 12,5	1 / 14,3	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 5,7
		Beidseitig	2	100	9	0 / 0,0	2 / 25,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Rippen	Luxation	Einseitig	3	85	23	1 / 1,0	1 / 12,5	1 / 14,3	1 / 1,8	0 / 0,0	0 / 0,0
		Beidseitig	1	87	23	1 / 1,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	1 / 2,9
	Frakturen	Einseitig	3	85	23	3 / 3,1	0 / 0,0	0 / 0,0	2 / 3,6	0 / 0,0	1 / 2,9
		Beidseitig	0	88	23	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0	0 / 0,0
Weichteilbeurteilung	Verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten		36	75	0	24 / 25,0	6 / 75,0	6 / 85,7	7 / 12,7	2 / 33,3	15 / 42,9
	Verminderte Höhe des Intervertebralraumes		43	68	0	33 / 34,4	5 / 62,5	5 / 71,4	16 / 29,1	2 / 33,3	15 / 42,9

Abkürzungen: MM = Merkmale; WK = Wirbelkörper; seitl. = seitlich

Erläuterung: Die Prozentangaben beziehen sich auf Summe der Frakturen pro Typ bzw. Gruppe.

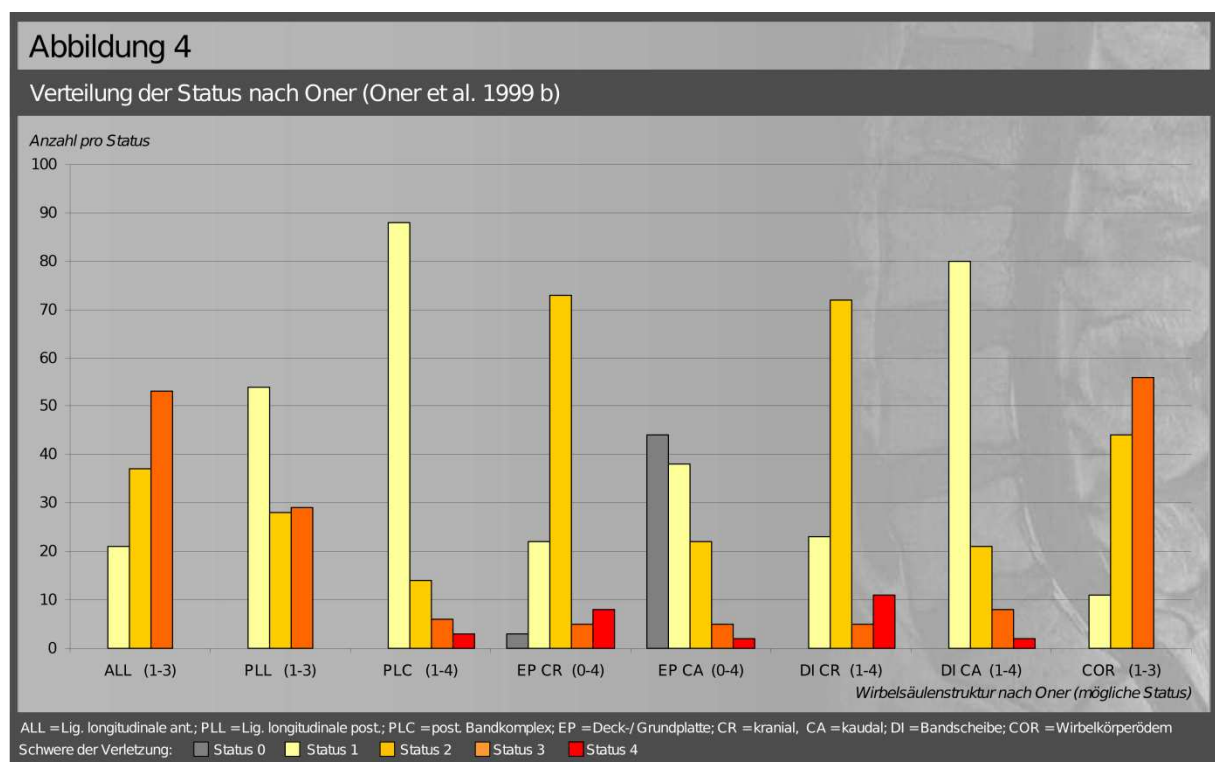
Die Ergebnisse der darauffolgenden Beurteilung nach dem von Oner et al. entworfenen Schema wurden in den Abbildungen 4 bis 10 dargestellt. Die Tabellen 9 bis 11 sollen zur ergänzenden Veranschaulichung der Affektion der im MRT evaluierten Strukturen dienen. Dabei ist zu beachten, dass dem Werk der Erstbeschreibung folgend die unterschiedlichen Wirbelsäulenstrukturen eine ungleiche Anzahl von Status aufweisen, welche in den Abbildungen der Strukturbezeichnung jeweils in Klammern folgt (Oner et al. 1999 b; erklärende Übersicht im Anhang – Kapitel 11 – Darstellung 4a und 4b).

Auf alle 111 beurteilten Frakturen bezogen fand sich im MRT eine gehäufte Beteiligung des Ligamentum longitudinale anterius (ALL), des Ligamentum longitudinale posterius (PLL) und des Wirbelkörpers im Sinne eines Knochenmarködems (COR). Dabei wurde bei 81,1 %

der Frakturen das ALL als gedehnt (33,3 % Status 2) oder gerissen (47,8 % Status 3) eingeschätzt. Das PLL stellte sich in 51,3 % als gedehnt (25,2 % Status 2) oder als gerissen (26,1 % Status 3) dar. In 90,1 % der betrachteten Wirbelkörper fand sich ein Wirbelkörper-ödem, welches mindestens  $\frac{1}{3}$  (39,6 % Status 2) oder sogar mehr als  $\frac{2}{3}$  (50,5 % Status 3) des Volumens betraf. Der posteriore ligamentäre Komplex (PLC) war in 79,3 % unauffällig.

Bei der Einschätzung der Deck- (EP CR) und Grundplatten (EP CA) sowie der Bandscheiben kranial (DI CR) und kaudal (DI CA) des gebrochenen Wirbels waren die kranialen Strukturen weitaus häufiger in das Frakturgeschehen involviert. So zeigte sich beispielsweise eine klare Diskontinuität im vorderen Teil bei 65,8 % der Deckplatten (EP CR-Status 2), jedoch nur bei 19,8 % der Grundplatten (EP CA-Status 2).

Auch bei den Bandscheiben wies der anteriore Anteil kranial mit 64,9 % (DI CR-Status 2) im Vergleich zu 18,9 % bei den kaudalen Bandscheiben (DI CA-Status 2) eine deutlich häufigere Beteiligung auf (Abbildung 4 / Tabelle 9).



Bezüglich der Frakturtypen der Magerl-Klassifikation zeigten die Oner-Status beim ALL eine korrelierende Aggravation mit aufsteigendem Typ. Fanden sich bei den insgesamt 96 Typ-A-Frakturen 80,2 % mit einem gedehnten (37,5 % ALL-Status 2) oder sogar gerissenen (42,7 % ALL-Status 3) Ligamentum longitudinale anterius, so erhöhte sich dieser Anteil auf 87,5 % bei den Typ-B-Frakturen (12,5 % ALL-Status 2 und 75,0 % ALL-Status 3) und 85,7 % bei den Typ-C-Frakturen (allein 85,7 % ALL-Status 3, Abbildung 5 / Tabelle 9).

Tabelle 9		Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation								
Magerl-Klassifikation	Frakturmerkmale nach Oner et al.									
	Status	Wirbelsäulenstruktur (mögliche Status)								
	Anteil (in %)	ALL (1-3)	PLL (1-3)	PLC (1-4)	EP CR (0-4)	EP CA (0-4)	DI CR (1-4)	DI CA (1-4)	COR (1-3)	
Gesamt	Status 0				2,7	39,7				
	Status 1	18,9	48,7	79,3	19,8	34,2	20,7	72,1	9,9	
	Status 2	33,3	25,2	12,6	65,8	19,8	64,9	18,9	39,6	
	Status 3	47,8	26,1	5,4	4,5	4,5	4,5	7,2	50,5	
	Status 4			2,7	7,2	1,8	9,9	1,8		
A	Status 0				3,1	42,7				
	Status 1	19,8	54,2	90,6	20,8	32,3	21,9	75,0	10,4	
	Status 2	37,5	25,0	9,4	64,6	19,8	64,6	17,7	41,7	
	Status 3	42,7	20,8	0,0	4,2	3,1	5,2	6,3	47,9	
	Status 4			0,0	7,3	2,1	8,3	1,0		
B	Status 0				0,0	12,5				
	Status 1	12,5	12,5	0,0	25,0	37,5	25,0	37,5	12,5	
	Status 2	12,5	12,5	25,0	50,0	25,0	37,5	25,0	37,5	
	Status 3	75,0	75,0	50,0	12,5	25,0	0,0	25,0	50,0	
	Status 4			25,0	12,5	0,0	37,5	12,5		
C	Status 0				0,0	28,6				
	Status 1	14,3	14,3	14,3	0,0	57,1	0,0	71,4	0,0	
	Status 2	0,0	42,8	42,8	100,0	14,3	100,0	28,6	14,3	
	Status 3	85,7	42,9	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	85,7	
	Status 4			14,3	0,0	0,0	0,0	0,0		

ALL = Lig. longitudinale ant.; PLL = Lig. longitudinale post.; PLC = post. Bandkomplex; EP = Deck-/ Grundplatte; CR = kranial, CA = kaudal; DI = Bandscheibe; COR = Wirbelkörperödem

Beim Vergleich der Statushäufigkeiten zwischen den einzelnen Frakturgruppen innerhalb der Kompressionsverletzungen (Typ A) wurde bei Impaktionsbrüchen (Gruppe A1) ein unverletztes ALL in 34,5 % der Fälle neben 38,2 % Dehnungen und 27,3 % Zerreißen dieser Struktur dargestellt. Der Anteil an Zerreißen des Bandes verminderte sich in Gruppe A2 (16,7 % ALL-Status 3 neben 83,3 % ALL-Status 2) und stieg in Gruppe A3 beachtlich an (71,4 % ALL-Status 3 neben 28,6 % ALL-Status 2, Abbildung 5 / Tabelle 10).

Abbildung 5

Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für ALL (Status 1-3 möglich)

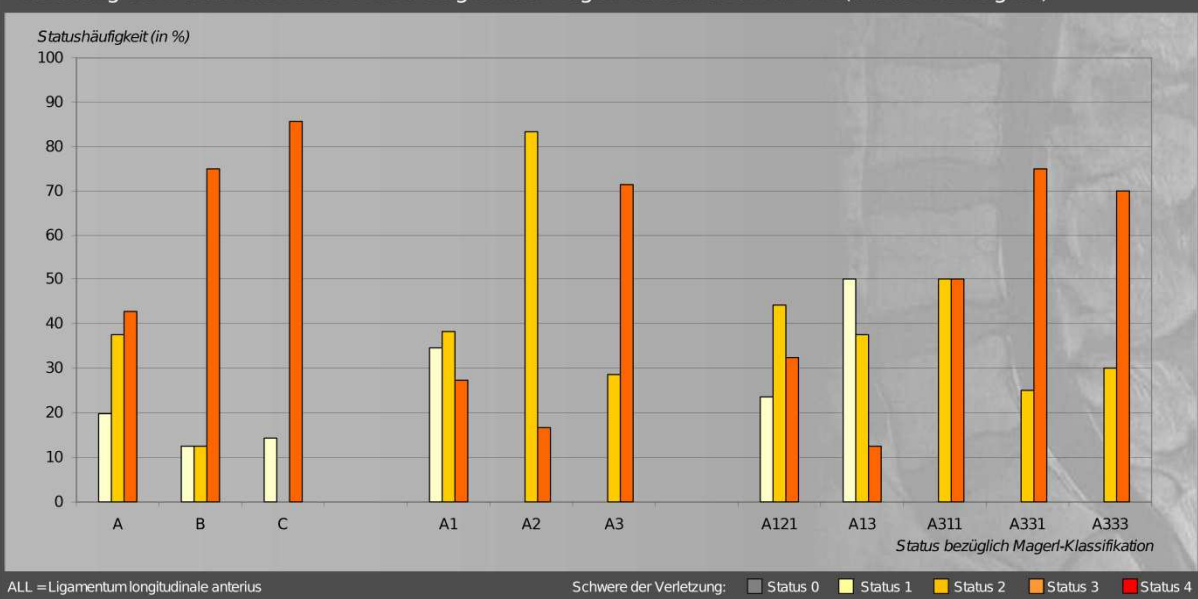


Tabelle 10 Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zu ausgewählten Magerl-Gruppen									
Magerl-Klassifikation	Frakturmerkmale nach Oner et al.								
Status	Wirbelsäulenstruktur (mögliche Status)								
	Anteil (in %)	ALL (1-3)	PLL (1-3)	PLC (1-4)	EP CR (0-4)	EP CA (0-4)	DI CR (1-4)	DI CA (1-4)	COR (1-3)
<b>A1</b> Anzahl der Frakturen: 55	Status 0				5,4	52,7			
	Status 1	34,5	76,4	92,7	30,9	34,5	30,9	85,4	18,2
	Status 2	38,2	18,2	7,3	60,0	9,1	61,8	7,3	56,4
	Status 3	27,3	5,4	0,0	0,0	3,7	3,7	7,3	25,4
	Status 4			0,0	3,7	0,0	3,6	0,0	
<b>A2</b> Anzahl der Frakturen: 6	Status 0				0,0	33,3			
	Status 1	0,0	66,7	100,0	0,0	16,7	0,0	33,3	0,0
	Status 2	83,3	33,3	0,0	100,0	50,0	100,0	66,7	16,7
	Status 3	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3
	Status 4			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>A3</b> Anzahl der Frakturen: 35	Status 0				0,0	28,6			
	Status 1	0,0	17,1	85,7	8,6	31,4	11,4	65,7	0,0
	Status 2	28,6	34,3	14,3	65,7	31,4	62,9	25,7	22,9
	Status 3	71,4	48,6	0,0	11,4	2,9	8,6	5,7	77,1
	Status 4			0,0	14,3	5,7	17,1	2,9	

ALL = Lig. longitudinale ant; PLL = Lig. longitudinale post; PLC = post. Bandkomplex; EP = Deck-/Grundplatte; CR = kranial, CA = kaudal; DI = Bandscheibe; COR = Wirbelkörperödem

Auch beim Vergleich häufig vertretener Subgruppen ließen sich Unterschiede in der Häufigkeit der Oner-Status feststellen. War bei der Bewertung des ALL der Anteil von Dehnungen und Zerreißen mit 44,1 % bzw. 32,4 % bei den 34 kranialen Keilbrüchen (Subgruppe A 1.2.1) höher als bei den 16 Wirbelkörperimpaktionsbrüchen (Subgruppe A 1.3 mit 37,5 % bzw. 12,5 %), so wurde dieser Anteil bei den je 8 kranialen inkompletten und Kneifzangenberstungsbrüchen noch übertroffen (Subgruppe A 3.1.1 mit 50,0 % bzw. 50,0 %; Subgruppe A 3.3.1 mit 25,0 % bzw. 75,0 %). Auch bei den kompletten axialen Berstungsbrüchen wurde das ALL oft als gedehnt oder gerissen dargestellt (Subgruppe A 3.3.3 mit 30,0 % bzw. 70,0 %; Abbildung 5 / Tabelle 11).

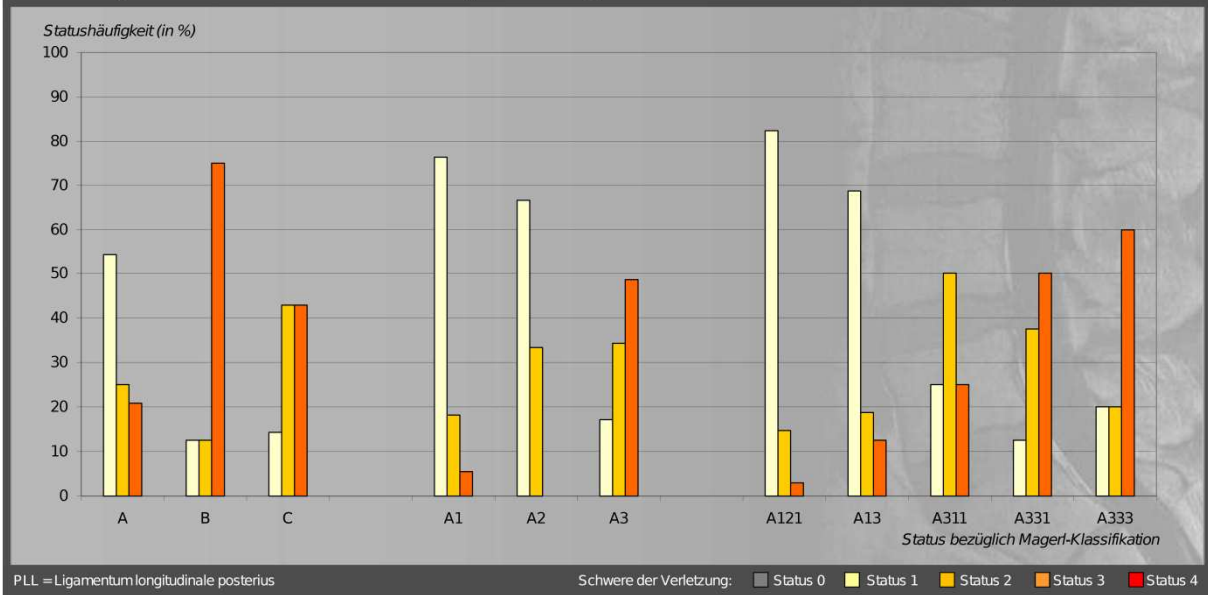
Die Evaluierung der PLL ergab im Typ A bei 45,8 % der Frakturen Status 2 oder 3. Verglichen damit fand sich ein deutlicher Anstieg an Dehnungen (PLL-Status 2) und Zerreißen (PLL-Status 3) dieser Struktur bei Typ B mit einem Anteil von insgesamt 87,5 % und bei Typ C von 85,7 %. Hier wurden beim Typ der Rotationsfrakturen weniger Rupturen (42,9 %) als bei den Distraktionsverletzungen (75,0 %) dargestellt.

Innerhalb der Kompressionsfrakturen nahm der Anteil der gedehnten und zerrissenen PLL von 23,6 % bei Gruppe A 1 über 33,3 % bei Gruppe A 2 auf 82,9 % bei Gruppe A 3 zu, was sich auch bei den Subgruppen nach Magerl widerspiegelte.

Hier reduzierte sich der Anteil unversehrter PLL von Subgruppe A 1.2.1 mit 82,4 % über Subgruppe A 1.3 mit 68,8 % auf Subgruppe A 3.1.1 mit 25,0 %, Subgruppe A 3.3.1 mit 12,5 % und Subgruppe A 3.3.3 mit 20,0 %. Rupturen dieses Bandes stiegen in der Reihenfolge der genannten Subgruppen mit 2,9 %; 12,5 %; 25,0 % und 50,0 % auf 60,0 % an (Abbildung 6 / Tabellen 9 bis 11).

Abbildung 6

Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für PLL (Status 1-3 möglich)



Die Verteilung der Oner-Status bezüglich des hinteren ligamentären Komplexes zeigte einen Hauptanteil unauffälliger Strukturen. Verletzungen wurden lediglich bei 9,4 % der Typ-A-Frakturen dargestellt. Dabei wies der PLC allein ein Ödem ohne Distanzerhöhung der Processi spinosi (PLC-Status 2) auf.

Tabelle 11 Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zu ausgewählten Magerl-Subgruppen

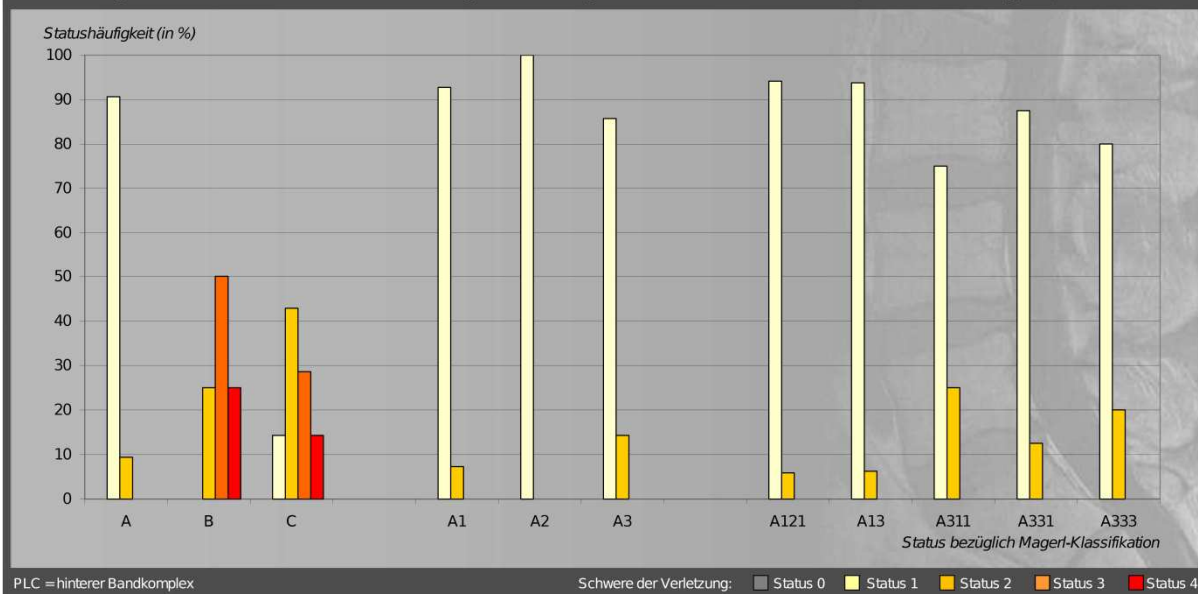
Magerl-Klassifikation	Frakturmerkmale nach Oner et al.	Wirbelsäulenstruktur (mögliche Status)							
Status	Anteil (in %)	ALL (1-3)	PLL (1-3)	PLC (1-4)	EP CR (0-4)	EP CA (0-4)	DI CR (1-4)	DI CA (1-4)	COR (1-3)
<b>A 1.2.1</b> Anzahl der Frakturen: 34	Status 0				2,9	61,8			
	Status 1	23,5	82,4	94,1	20,6	29,4	14,7	88,2	20,6
	Status 2	44,1	14,7	5,9	70,6	8,8	76,5	5,9	52,9
	Status 3	32,4	2,9	0,0	0,0	0,0	2,9	5,9	26,5
	Status 4			0,0	5,9	0,0	5,9	0,0	
<b>A 1.3</b> Anzahl der Frakturen: 16	Status 0				12,5	31,3			
	Status 1	50,0	68,8	93,8	56,3	50,0	62,5	81,3	12,5
	Status 2	37,5	18,7	6,2	31,2	6,2	31,3	6,2	68,8
	Status 3	12,5	12,5	0,0	0,0	12,5	6,2	12,5	18,7
	Status 4			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>A 3.1.1</b> Anzahl der Frakturen: 8	Status 0				0,0	25,0			
	Status 1	0,0	25,0	75,0	12,5	75,0	25,0	100,0	0,0
	Status 2	50,0	50,0	25,0	75,0	0,0	62,5	0,0	62,5
	Status 3	50,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5
	Status 4			0,0	12,5	0,0	12,5	0,0	
<b>A 3.3.1</b> Anzahl der Frakturen: 8	Status 0				0,0	50,0			
	Status 1	0,0	12,5	87,5	25,0	0,0	25,0	75,0	0,0
	Status 2	25,0	37,5	12,5	50,0	25,0	50,0	0,0	12,5
	Status 3	75,0	50,0	0,0	12,5	12,5	0,0	12,5	87,5
	Status 4			0,0	12,5	12,5	25,0	12,5	
<b>A 3.3.3</b> Anzahl der Frakturen: 10	Status 0				0,0	10,0			
	Status 1	0,0	20,0	80,0	0,0	20,0	0,0	20,0	0,0
	Status 2	30,0	20,0	20,0	90,0	60,0	90,0	80,0	0,0
	Status 3	70,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
	Status 4			0,0	10,0	10,0	10,0	0,0	

ALL = Lig. longitudinale ant.; PLL = Lig. longitudinale post.; PLC = post. Bandkomplex; EP = Deck-/Grundplatte; CR = kranial, CA = kaudal; DI = Bandscheibe; COR = Wirbelkörperödem



Abbildung 7

Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für PLC (Status 1-4 möglich)



PLC-Status 2 war beim Magerl-Typ B mit 25,0 % neben 50,0 % Frakturen mit PLC-Status 3 (Ödem innerhalb des PLC mit zusätzlicher Auseinanderweichung der Processi spinosi) und 25,0 % mit PLC-Status 4 (Ruptur des Komplexes) vertreten.

Bei den Typ-C-Frakturen zeigten sich 42,9 % mit PLC-Status 2, jedoch nur 28,6 % mit PLC-Status 3 bzw. 14,3 % mit PLC-Status 4.

Der geringe Anteil an Auffälligkeiten des hinteren ligamentären Komplexes im Typ A wurde auch bei der Betrachtung der Statushäufigkeiten in den Magerl-Gruppen bzw. -Subgruppen reflektiert. So stellten sich Ödeme im Sinne eines PLC-Status 2 maximal mit 25,0 % bei kranialen inkompletten Berstungsbrüchen dar. Schwerere Strukturverletzungen wurden nicht verifiziert (Abbildung 7 / Tabellen 9 bis 11).

Der statistische Zusammenhang zwischen den Bandverletzungen gemessen am Status nach Oner et al. und der Klassifizierung der Fraktur nach Magerl et al. wurde durch den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman errechnet. Er ergab hinsichtlich der Magerl-Typen und Gruppe im Studienzeitpunkt B (Röntgen und MRT) und meist auch im Studienzeitpunkt A (Röntgen und CT) signifikante Werte (Tabelle 12).

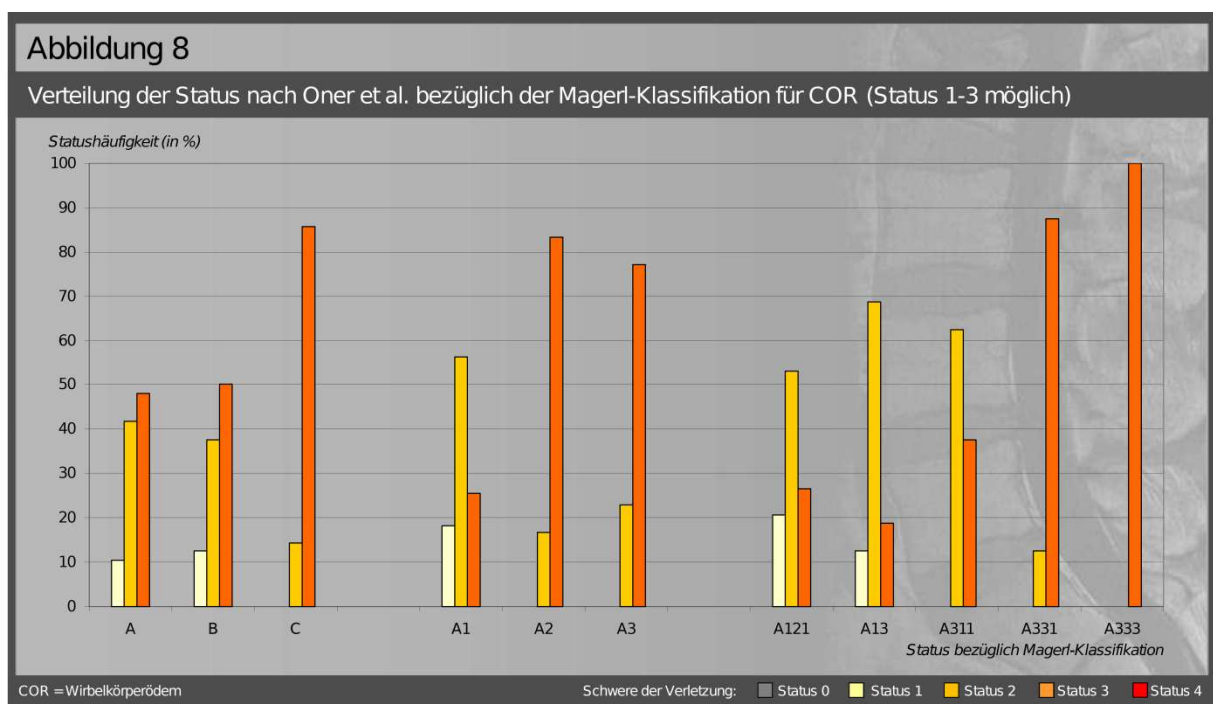
Tabelle 12

Korrelation der Status der Ligamenta mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT

Korrelation von		MRT			CT		
Status nach Oner et al. 1999 b	Zur Klassifikation nach Magerl et al. 1994	Spearman's Rho	p-Wert	Signifikanz	Spearman's Rho	p-Wert	Signifikanz
ALL	Typ	0,22	0,022	≤ 0,05	0,09	0,364	-
	Gruppe	0,47	0,000	≤ 0,01	0,42	0,000	≤ 0,01
PLL	Typ	0,32	0,001	≤ 0,01	0,17	0,082	-
	Gruppe	0,61	0,000	≤ 0,01	0,56	0,000	≤ 0,01
PLC	Typ	0,74	0,000	≤ 0,01	0,47	0,000	≤ 0,01
	Gruppe	0,53	0,000	≤ 0,01	0,31	0,001	≤ 0,01

In beiden Studienzweigen korrelierte die Magerl-Klassifizierung hinsichtlich der Frakturgruppe besser mit der ALL- und PLL-Verletzung als bezüglich des Frakturtyps. Bei der Affektion des PLC war jedoch der Zusammenhang mit dem Magerl-Typ größer. Nach Auswertung der Bilddaten aus CT und Röntgen konnte keine signifikante Korrelation des Frakturtyps mit den Verletzungsstatus nach Oner et al. beim ALL und PLL belegt werden.

Bei Betrachtung der Frakturmerkmale zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Verletzungsgrad des PLL nach Oner et al. und dem Auftreten eines Hinterkantenfragmentes im Studienzweig B (Röntgen und MRT: Spearmans Rho = 0,52;  $p \leq 0,01$ ) und im Studienzweig A (Röntgen und CT: Spearmans Rho = 0,43;  $p \leq 0,01$ ). Ein höherer Oner-Status des PLC korrelierte mit einer vertikalen Abstandsvergrößerung der Dornfortsätze besser als mit einer vertikalen Auseinanderweichung der Bogenwurzeln im Studienzweig B (Spearmans Rho = 0,74 bzw. 0,35;  $p \leq 0,01$ ). Der letztgenannte Zusammenhang konnte allerdings nach Begutachtung der Dornfortsätze und Bogenwurzeln im Studienzweig A (Röntgen und CT) nicht belegt werden (Spearmans Rho = 0,13 bei  $p = 0,21$  bzw. 0,21 bei  $p \leq 0,05$ ).



Bei der Beurteilung des Knochenmarködems als Hinweis auf Läsionen des Wirbelkörpers (COR) ergaben sich häufig Status, die eine Affektion von  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{2}{3}$  (COR-Status 2) bzw. mehr als  $\frac{2}{3}$  (COR-Status 3) des Wirbelkörpervolumens bezeichnen. Waren bei Typ-A-Frakturen 47,9 % mit COR-Status 3 vertreten, so zeigte sich ein steigender Anteil bei Typ-B- und Typ-C-Frakturen mit 50,0 % bzw. 85,7 %.

Innerhalb der Gruppen des Magerl-Typs A hatten die Spaltbrüche mit 83,3 % den maximalen Anteil an Frakturen mit COR-Status 3, gefolgt von den Berstungsbrüchen mit 77,1 % und den Impaktionsbrüchen mit 25,4 % in diesem Status. Dabei fanden sich allein in der letztgenannten Gruppe Wirbelkörper, bei welchen in weniger als  $\frac{1}{3}$  des Volumens ein Ödem dargestellt war (COR-Status 1 mit 18,2 %).

Die von dem Ödem betroffenen Anteile des Wirbelkörpers stiegen auch innerhalb der Subgruppen. Bei kompletten axialen Berstungsbrüchen (A 3.3.3) fanden sich alle Frakturen mit einem COR-Status 3 (Abbildung 8 / Tabellen 9 bis 11).

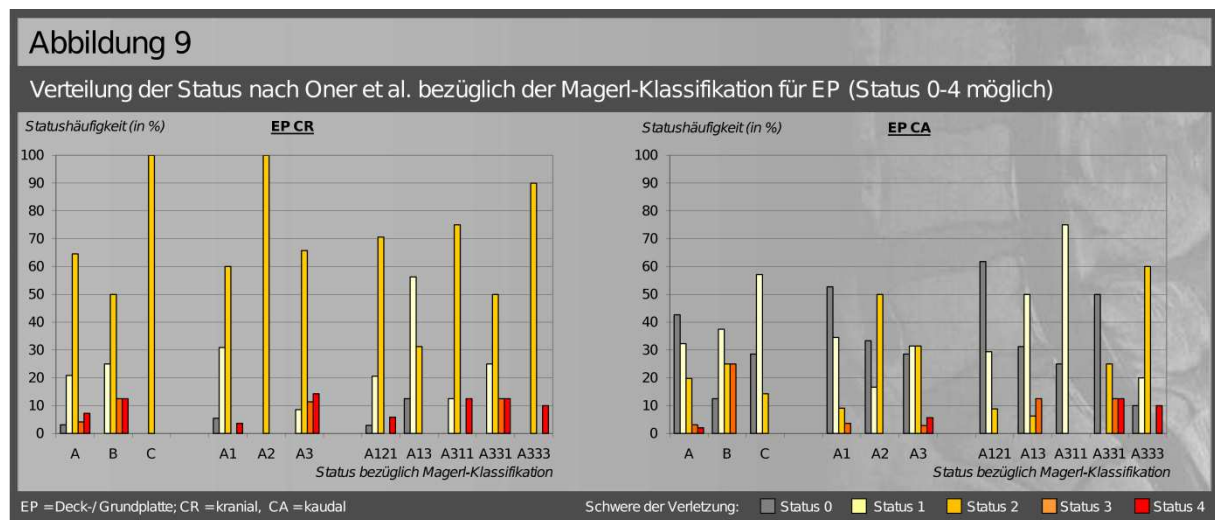
Die magnetresonanztomographische Darstellung der Deck- und Grundplatten der frakturierten Wirbel zeigte ein klares Verteilungsmaximum im EP CR-Status 2 in allen drei Magerl-Typen (Typ A mit 64,6 %; Typ B mit 50,0 % und Typ C mit 100,0 %). Dieser Status beschreibt den Zustand einer Diskontinuität der hypointensen Deckplattenlinie ausschließlich in der vorderen Hälfte. Frakturen, bei welchen die erwähnten Diskontinuitäten alleinig in der hinteren Hälfte der Deck- bzw. Grundplatte auftraten (EP CR- bzw. EP CA-Status 3) oder die gesamte Fläche der Endplatten betrafen (EP CR- bzw. EP CA-Status 4), wurden weitaus seltener registriert. Am häufigsten fanden sie sich bei den Distraktionsfrakturen (je 12,5 % mit EP CR-Status 3 und 4; 25,0 % EP CA-Status 3; 0,0 % EP CA-Status 4). Allgemein war die Wirbelkörpergrundplatte seltener betroffen und meist nur deformiert (EP CA-Status 1 bei Typ A mit 32,3 %; Typ B mit 37,5 % und Typ C mit 57,1 %). Höhere Status wurden bei Distraktionsbrüchen (EP CA-Status 2 und 3 je 25,0 %) und seltener in den anderen Typen dargestellt (EP CA-Status 2; 3 bzw. 4 im Typ A mit 19,8 %; 3,1 % bzw. 2,1 % und im Typ C mit 14,3 %; 0,0 % bzw. 0,0 %).

Die Gruppeneinteilung nach Magerl betrachtend war auch hier das zuvor genannte Maximum in EP CR-Status 2 zu verzeichnen. Am häufigsten wurde dieser Status bei den Spaltbrüchen mit 100,0 % frischen Frakturen in der vorderen Deckplattenhälfte notiert, gefolgt von Gruppe A3 mit 65,7 % und Gruppe A1 mit 60,0 %. In dieser Frakturgruppe (Gruppe A2) waren auch die Grundplatten mit 50,0 % meist in der vorderen Hälfte frakturiert (EP CA-Status 2), während sich bei den Impaktionsfrakturen eher unversehrte (EP CA-Status 0 mit 52,7 %) Grundplatten zeigten. Bei den Berstungsbrüchen wurden meist eine plastische Deformierung oder eine Kontinuitätsunterbrechung im vorderen Teil der unteren Wirbelkörperbegrenzung verifiziert (EP CA-Status 1 und 2 mit je 31,4 %).

Weiterhin fand sich in den Magerl-Subgruppen bei den kranialen Keilbrüchen ein Maximum in EP CR-Status 2 mit 70,6 % und bei den Wirbelkörperimpaktionen in EP CR-Status 1 mit



56,3 %. Auch innerhalb der Subgruppen A 3.1.1, A 3.3.1 und A 3.3.3 stellte EP CR-Status 2 ein Maximum dar (75,0 %; 50 % bzw. 90,0 %). Grundplatten waren bei den beiden letztgenannten Subgruppen häufiger gebrochen (Subgruppe A 3.3.1 mit 25,0 % EP CA-Status 2; je 12,5 % EP CA-Status 3 bzw. 4 und Subgruppe A 3.3.3 mit 60,0 % EP CA-Status 2 und 10,0 % EP CA-Status 4), während sie bei den kranialen Keilbrüchen (A 1.2.1), den Wirbelkörperimpaktionen (A 1.3) und den kranialen inkompletten Berstungsbrüchen (A 3.1.1) oft nur deformiert dargestellt wurden (Abbildung 9 / Tabellen 9 bis 11).

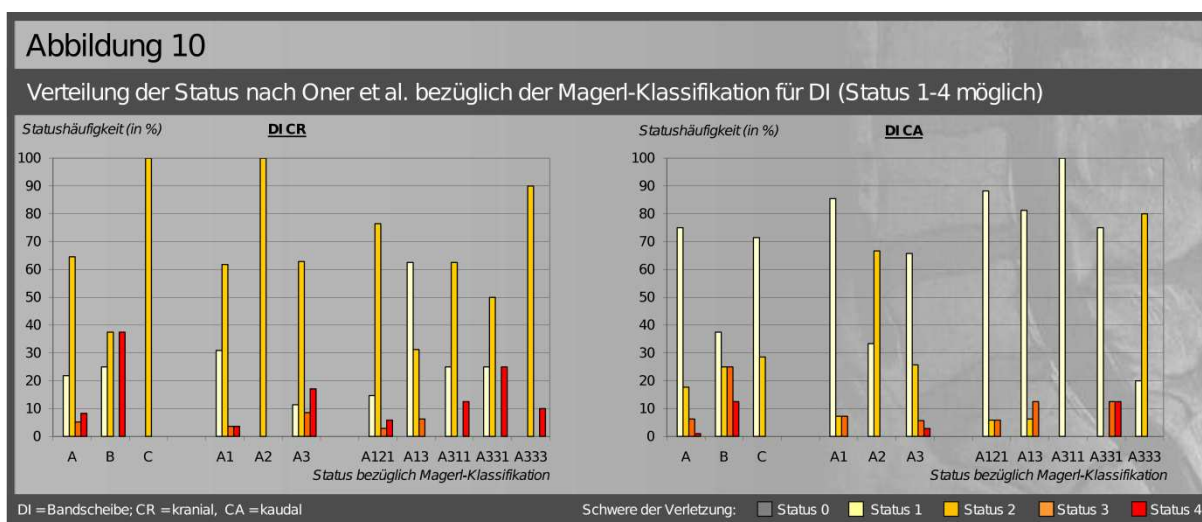


Die Verteilung der Deck- und Grundplattenbeteiligung eingeschätzt nach den Oner-Kriterien setzte sich bezüglich der Klassifizierung nach Magerl et al. auch in Häufigkeit und Schwere der Bandscheibenverletzungen fort. So fanden sich hinsichtlich der Magerl-Typen vermehrt Läsionen im vorderen Teil der kranialen Bandscheibe (DI CR-Status 2 für Typ A mit 64,6 %; Typ B mit 37,5 % und Typ C mit 100,0 %). Bei den Distraktionsverletzungen zeigten sich allerdings auch 37,5 % Frakturen mit Affektion der gesamten kranialen Bandscheibe (DI CR-Status 4). Kaudale Bandscheiben waren insgesamt seltener verletzt, meist aber bei Typ-B-Frakturen (DI CA-Status 2 und 3 bei je 25,0 %, DI CA-Status 4 bei 12,5 %).

Auch innerhalb der Gruppen waren kraniale Bandscheiben häufiger im vorderen Teil betroffen, während bei kaudalen Bandscheiben oft keine Läsion dargestellt wurde. Bei den Spaltbrüchen waren allerdings alle kranialen Bandscheiben in der vorderen Hälfte verletzt (DI CR-Status 2 für Gruppe A2) und kaudal gelegene Bandscheiben zu 66,7 % in diesem Bereich betroffen (DI-CA-Status 2). Bei den Berstungsbrüchen stellte sich in 17,1 % eine Affektion der gesamten kranialen Bandscheibe dar.

Unter den Subgruppen fand sich ebenfalls eine Bandscheibenbeteiligung im Profil der Endplattenläsionen. Kraniale Keilbüche (A 1.2.1) und kraniale inkomplette Berstungsbrüche

(A 3.1.1) wiesen ein Maximum mit 76,5 bzw. 62,5 % in DI CA-Status 2 auf, während die kaudalen Bandscheiben meist nicht in Mitleidenschaft gezogen wurden. In der Subgruppe der Wirbelkörperimpaktionen (A 1.3) waren beide angrenzende Bandscheibenräume meist unauffällig. Bei den kompletten axialen Berstungsbrüchen (A 3.3.3) fanden sich in den entsprechenden Strukturen häufig Läsionen im vorderen Bereich (DI CR- und DI CA-Status 2 mit 90,0 bzw. 80,0 %), während bei den Kneifzangenberstungsbrüchen (A 3.3.1) auch hintere Anteile betroffen waren (25,0 % DI CR-Status 4 neben 50,0 % DI CR-Status 2; je 12,5 % DI CA-Status 3 bzw. 4; Abbildung 10 / Tabellen 9 bis 11).



Die statistischen Auswertungen im Rahmen der Studie zeigten, dass die frakturangrenzenden Bandscheiben kranial signifikant häufiger und schwerer verletzt wurden ( $\chi^2$ -Test:  $\chi = 61,1$  bzw. 59,3). Die Hypothese, dass ein Wirbelbruch, der die Deck- bzw. die Deck- und Grundplatte mit einbezieht, auch häufiger zu einer Verletzung der angrenzenden Bandscheibe führt, konnte nicht bestätigt werden ( $\chi^2$ -Test:  $\chi = 0,04$ ;  $p = 0,85$  bzw.  $\chi = 8,0$ ;  $p \leq 0,01$  für Studienzweig A [Röntgen und CT];  $\chi = 0,4$ ;  $p = 0,55$  bzw.  $\chi = 29,1$ ;  $p \leq 0,01$  für Studienzweig B [Röntgen und MRT]). Auch die Korrelation der Bandscheibenstatus nach Oner et al. mit der Frakturklassifizierung nach Magerl et al. war nur gering bezüglich der Frakturgruppen und nicht signifikant bezüglich der Magerl-Typen (Tabelle 13).

Tabelle 13 Korrelation der Status der Bandscheiben mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT							
Korrelation von Status nach Oner et al. 1999 b	Zur Klassifikation nach Magerl et al. 1994	MRT Spearmans Rho	p-Wert	Signifikanz	CT Spearmans Rho	p-Wert	Signifikanz
DI CR	Typ	0,06	0,568	-	- 0,05	0,608	-
	Gruppe	0,25	0,014	$\leq 0,05$	0,25	0,012	$\leq 0,05$
DI CA	Typ	0,20	0,053	-	0,19	0,061	-
	Gruppe	0,31	0,002	$\leq 0,01$	0,25	0,016	$\leq 0,05$

Im Zuge der Auswertung MRT-spezifischer Merkmale nach Oner et al. erfolgte auch die Nennung weiterer betroffener Wirbel mit einer Einschätzung nach dem COR-Status (CORx). Dabei waren zunächst 72 weitere Wirbelkörper aufgefallen, wovon allerdings 17 als zusätzlich relevante Frakturen ordnet wurden. Bei diesen 17 Frakturen erfolgte die Begutachtung in allen Bögen des Studienzweigs B (Röntgen und MRT). Somit sind die dabei erhobenen Daten in die zuvor genannten Ergebnisse eingeflossen. Sie unterteilten sich in 12 angrenzende Brüche und 5 Mehretagenfrakturen. Es fanden sich dabei 43,1 % der Wirbelkörper mit einer Volumenbeteiligung von weniger als  $\frac{1}{3}$  (CORx-Status 1); 38,9 % mit einer Volumenbeteiligung zwischen  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{2}{3}$  (CORx-Status 2) sowie 18,0 % an Wirbelkörpern, bei denen mehr als  $\frac{2}{3}$  des Volumens betroffen war (CORx-Status 3).

Die 55 weiteren, nach dem CORx-Status bewerteten Wirbelverletzungen untergliederten sich in 43 Mehrsegment- und 12 Mehretagenfrakturen. In der Mehrzahl waren es Wirbelkörper mit dem geringsten CORx-Status (50,9 % mit Status 1: Ödem in weniger als  $\frac{1}{3}$  des Wirbelkörpervolumens) neben 36,4 % Begleitverletzungen mit CORx-Status 2 (Zwischenstatus) und 12,7 % mit CORx-Status 3 (Ödem in mehr als  $\frac{2}{3}$  des Wirbelkörpervolumens).

Den Auswertungsvorgaben folgend wurde das Bildmaterial aller 111 Frakturen in Zweig B (Röntgen und MRT) auch auf Darstellung und Lokalisation eines eventuell vorhandenen frakturassoziierten Hämatoms geprüft. Hierbei fand sich bei 85 Frakturen und damit in insgesamt 78 Fällen kein Hämatom. Bei den verbleibenden 22 Patienten mit 26 Wirbelbrüchen stellte sich in 24 Lokalisationen eine Blutung dar. In 17 Fällen (70,8 % aller Hämatome) mit insgesamt 19 beurteilten Frakturen wurde ein epidurales Hämatom (Beispiel in Abbildung 11) und in 5 Fällen (20,8 % aller Hämatome) mit insgesamt 6 Frakturen wurde ein prävertebrales Hämatom eruiert. Darin eingeschlossen fand der Beobachter in einem Fall sowohl eine prävertebrale als auch eine epidurale Blutung. Bei einem Patienten wurde ein Hämatom prävertebral und eine weitere Blutung „anderer Lokalisation“ notiert. Insgesamt wurden 2 Hämatome als Blutungen „anderer Lokalisation“ eingestuft. Subdural- und Subarachnoidalblutungen wurden nicht vorgefunden.

Hinsichtlich der Fraktуреinordnung nach Magerl et al. fanden sich unter den Frakturtypen die meisten epiduralen Hämatome bei den Typ-B-Frakturen (37,5 %), gefolgt von den Typ-C- (16,7 %) und Typ-A-Verletzungen (14,8 %).

## Abbildung 11

Beispiel eines Patienten mit frakturassoziiertem epiduralen Hämatom ( ← ) im MRT (T2)



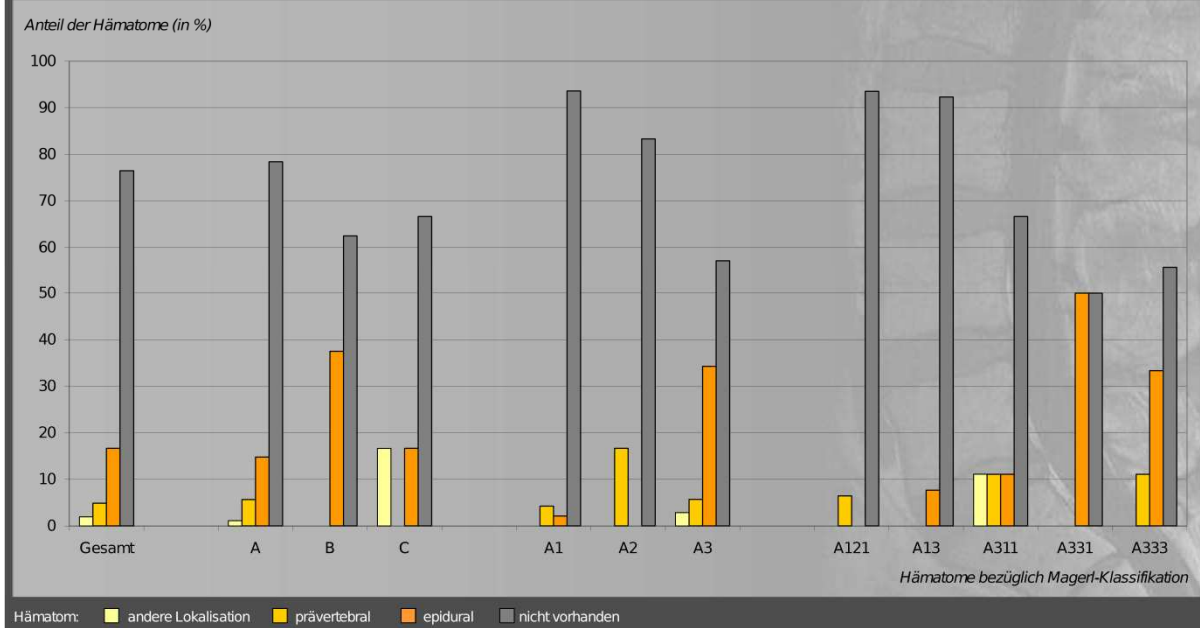
Innerhalb der Kompressionsverletzungen stieg bezüglich der Magerl-Gruppen der relative Anteil an Brüchen mit Begleithämatomen von 6,4 % bei den Impaktionsbrüchen über 16,7 % bei den Spaltbrüchen auf 42,9 % bei den Berstungsbrüchen. Während die Mehrzahl der Blutungen in Gruppe A1 bzw. A2 als prävertebral lokalisiert wurde (4,3 % bzw. 16,7 % neben einem Hauptanteil an Frakturen ohne Hämatom), war die Lokalisation bei Berstungsbrüchen eher epidural (34,3 % neben einem Hauptanteil an Frakturen ohne Hämatom).

Hinsichtlich der Magerl-Subgruppen innerhalb der Impaktionsbrüche (Gruppe A1) notierte der Begutachter Hämatome mit prävertebraler Lokalisation ausschließlich in Subgruppe A 1.2.1 (6,5 %) und mit epiduraler Lage allein bei Frakturen der Subgruppe A 1.3 (7,7 %). Unter den Subgruppen der Magerl-Gruppe A3 wurden bei den kranialen inkompletten Berstungsbrüchen (A 3.1.1) je bei 11,1 % der Frakturen epidurale und prävertebrale Hämatome vorgefunden, während die Darstellungen der kompletten axialen Berstungsbrüche (A 3.3.3) sogar in 33,3 % epidurale und in 11,1 % prävertebrale Hämatome zeigten. Die Subgruppe der Kneifzangenberstungsbrüche (A 3.3.1) zeigte bei 50,0 % der Frakturen ein Epiduralhämatom (Abbildung 12).

Bei der Berechnung des prozentualen Anteils der Begleithämatome wurden die jeweilig notierten Blutungen der schwersten Fraktur nach Magerl et al. pro Patient zugeordnet.

**Abbildung 12**

Verteilung der Hämatome bezüglich der Magerl-Klassifikation



Bezüglich neurologischer Defizite waren alle Patienten mit prävertebralen Hämatomen und Blutungen „anderer Lokalisation“ unauffällig (5 bzw. 2 Patienten). Auch 11 Patienten mit Nachweis einer epiduralen Blutung im MRT präsentierten sich mit einem Frankel-/ASIA-Grad E. Bei den verbleibenden 6 Patienten zeigte sich in 5 Fällen eine inkomplette Querschnittssymptomatik (dreimal Frankel-/ASIA-Grad D und je einmal Frankel-/ASIA-Grad C bzw. B). Bei einem der beiden Patienten, welche die Symptomatik eines kompletten Querschnitts boten (Frankel-/ASIA-Grad A), wurde im MRT ein Epiduralhämatom nachgewiesen, während sich bei der anderen Person keine Blutung jedoch ein disloziertes Hinterkantenfragment darstellte.

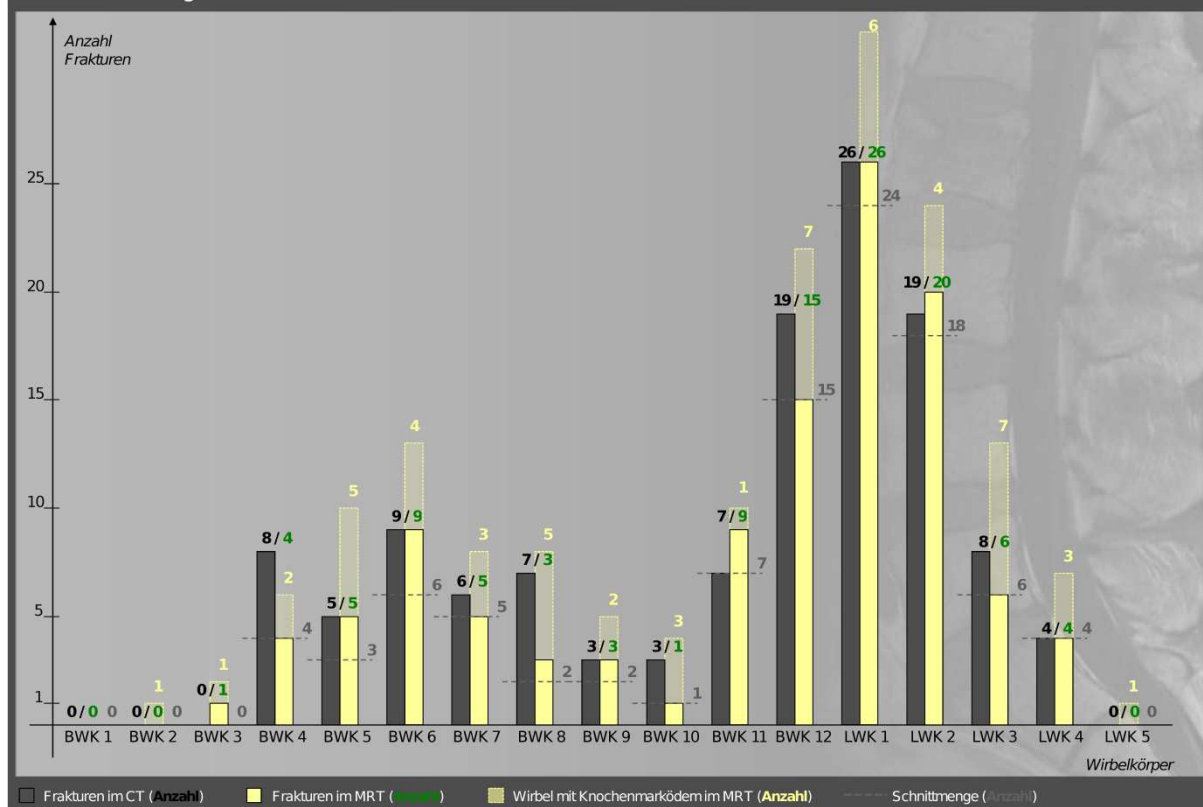
### 6.3 CT-okkulte Zusatzbefunde im MRT

Im MRT stellte man einige Befunde fest, welche der Begutachter im CT nicht eruierte. Diese wurden im Folgenden zusammenfassend erläutert.

Mit der Aufgabe, die jeweils für die Diagnose, Therapieplanung und Prognose wichtigsten Frakturen eines präsentierten Falles zu beurteilen, bewertete der Neurochirurg in Studienzweig A (Röntgen und CT) 124 Wirbelbrüche. Ein anderer Neurochirurg begutachtete in Zweig B (Röntgen und MRT) 111 Frakturen. Die jeweilige Höhenverteilung wurde in Abbildung 13 gegenübergestellt.

Abbildung 13

Höhenverteilung der Frakturen im CT (124 Frakturen) und MRT (111 Frakturen und 55 Wirbel mit Ödem)



Da der Studienzeitpunkt B (Röntgen und MRT) eine Evaluation der Wirbelkörperödeme nach Oner et al., die zum Teil zusätzlich zu den beurteilten Frakturen auftraten, mit einschloss (CORx), wurden 55 weitere Wirbel mit dieser traumaassoziierten Veränderung evaluiert (Verteilung in Abbildung 13). 12 dieser Wirbel mit einem Ödem wurden im Studienzeitpunkt A nach Auswertung des CTs als frakturiert bezeichnet. Darunter waren auch drei Wirbelbrüche, die zwischen Zeitpunkt A und B eine Diskordanz in der Höhenangabe aufwiesen, was im folgenden Abschnitt näher ausgeführt wurde. Die verbleibenden 43 als CORx bewerteten Wirbel, darunter sich 33 Mehrsegment- und 10 Mehretagenverletzungen befanden, benannte der Begutachter im Studienzeitpunkt A (Röntgen und CT) nicht.

Unter den beurteilten Wirbelsäulenverletzungen in beiden Studienzeitpunkten ließ sich eine Schnittmenge von 108 Frakturen anhand der eingeschätzten Charakteristiken von Frakturhöhe, -zahl und -merkmalen zuordnen. Dabei ergab sich allerdings in 11 Fällen ein Unterschied in der Höhenangabe der Wirbelverletzung, wobei die Höhendifferenz in 8 Fällen einem Wirbel und dreimal zwei Wirbel entsprach. Bei 8 Frakturen betraf sie die BWS, bei 2 Frakturen die LWS und bei einer Fraktur den thorakolumbalen Übergang. Beide Höhendifferenzen um zwei Wirbel traten in der BWS auf.

Um im Vergleich zwischen der Auswertung im CT und im MRT die Gegenüberstellung der Verletzungen unterschiedlicher Wirbel zu vermeiden, flossen die genannten 11 Fälle mit einer Höhendifferenz nicht in die Auswertung mit ein. Daher beziehen sich alle folgenden Angaben auf eine Schnittmenge von 97 Frakturen bei 89 Patienten. Die Höhenverteilung dieser Schnittmenge wurde ebenfalls in Abbildung 13 veranschaulicht.

Ligamentäre Strukturen beurteilte ausschließlich der Begutachter im Studienzeitpunkt B nach Sichtung der MRT-Bilder. So fand sich bei 81 der 97 verglichenen Brüche eine Veränderung des ALL (Status 2 und 3 nach Oner et al.), wobei 50-mal eine auf eine Zerreißung hinweisende Diskontinuität vorgefunden wurde.

Eine Bandruptur wurde auch beim PLL in 23 Frakturfällen dargestellt (Status 3). Dehnungen dieses Bandes ohne Hinweise auf eine Zerreißung (Status 2) zeigten sich 25-mal.

Der hintere ligamentäre Komplex stellte sich bei 22 Frakturen als anormal dar (PLC-Status 2 bis 4), wobei sich lediglich dreimal eine klare Zerreißung fand (PLC-Status 4).

Wurde beim CT in keinem Fall eine Verminderung der intervertebralen Höhe festgestellt, so wies das MRT dennoch 76 bzw. 24 Bandscheibenverletzungen kranial bzw. kaudal des betroffenen Wirbels auf. Dabei wurde die Zwischenwirbelscheibe in 7 bzw. 2 Fällen im gesamten Volumen in Mitleidenschaft gezogen.

Hämatome wurden im MRT bei 20 Patienten der Schnittmenge von 89 Personen dargestellt (insgesamt bei 22 Personen im Studienzeitpunkt B). Eine genaue Spezifizierung der Lokalisation ergab dabei 15 epidurale und 5 prävertebrale Blutungen (insgesamt im Studienzeitpunkt B: 17 bzw. 5 Hämatome).

In keinem Fall fanden sich nach Einschluss in die Studie im MRT Hinweise auf primär oder sekundär die Wirbelsäule betreffende Tumoren oder sonstige Fehlbildungen.

#### **6.4 Frakturklassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich**

Die Beurteilung der Wirbelsäulenverletzungen im CT und im MRT zielte auf eine Klassifizierung der Verletzungen nach Magerl et al. (1994) ab. Dabei wiesen die 97 Frakturen der Schnittmenge der beiden Studienzeitpunkte am häufigsten Merkmale einer Typ-A-Fraktur auf (92 Frakturen im CT entsprechend 94,8 %; 83 Frakturen im MRT entsprechend 85,6 %). Mit je 7 Distraktions- (Typ B) und Torsionsverletzungen (Typ C; je 7,2 %) fanden sich häufiger höher klassifizierte Frakturen nach Bewertung der Bilddaten im MRT im Vergleich zu 4 Typ-B-Verletzungen und einer Typ-C-Verletzung (4,1 % bzw. 1 %) im Studienzeitpunkt des

CTs. Als häufigste Gruppe waren im CT Berstungsbrüche, gefolgt von Impaktions- und Spaltbrüchen aufgefallen (Gruppe A3 mit 44, Gruppe A1 mit 34 bzw. Gruppe A2 mit 14 Frakturen; 45,4 %; 35,1 % bzw. 14,4 %). Im MRT wurden die Impaktionsbrüche mit 48 Frakturen (49,5 %) häufiger als die Berstungsbrüche mit 30 Frakturen (30,9 %), gefolgt von 5 Spaltbrüchen (5,2 %) klassifiziert. In beiden Studienzweigen stellten die kranialen Keilbrüche (A 1.2.1) die am häufigsten vertretene Subgruppe dar. Auf solche Frakturen hinweisende Kriterien wurden im CT bei 28 Verletzungen (28,9 %) und im MRT bei 33 Verletzungen (34,0 %) eruiert. Die quantitative Verteilung weiterer Magerl-Gruppen und -Subgruppen nach der Bewertung im CT und MRT wurde in Tabelle 14 gegenübergestellt.

Tabelle 14 Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien bei der Schnittmenge der 97 Frakturen															
Klassifizierung nach Magerl et al. im Röntgen und CT (Studienzweig A)						Klassifizierung nach Magerl et al. im Röntgen und MRT (Studienzweig B)									
Typ		Gruppe		Subgruppe		Subgruppe		Gruppe		Typ					
A	92	A1	34	A 1.1	2	A 1.1	3	A1	48	A	83				
				A 1.2.1	28	A 1.2.1	33								
				A 1.2.2	1	A 1.2.2	0								
				A 1.2.3	1	A 1.2.3	2								
				A 1.3	2	A 1.3	10								
		A2	14	A 2.1	7	A 2.1	1	A2	5						
				A 2.2	7	A 2.2	1								
				A 2.3	0	A 2.3	3								
		A3	44	A 3.1.1	22	A 3.1.1	8	A3	30						
				A 3.1.2	0	A 3.1.2	1								
				A 3.1.3	3	A 3.1.3	0								
				A 3.2.1	15	A 3.2.1	5								
				A 3.2.2	3	A 3.2.2	0								
				A 3.2.3	0	A 3.2.3	0								
				A 3.3.1	0	A 3.3.1	6								
				A 3.3.2	0	A 3.3.2	1								
				A 3.3.3	1	A 3.3.3	9								
				B	4	B1	2					B 1.1.1	0	B 1.1.1	1
		B 1.1.2	0					B 1.1.2	0						
		B 1.1.3	0					B 1.1.3	0						
		B 1.2.1	1					B 1.2.1	2						
		B 1.2.2	1					B 1.2.2	1						
		B 1.2.3	0			B 1.2.3	0								
		B2	2			B 2.1	0	B 2.1	0			B2	2		
						B 2.2.1	0	B 2.2.1	0						
						B 2.2.2	0	B 2.2.2	0						
						B 2.3.1	2	B 2.3.1	1						
				B 2.3.2	0	B 2.3.2	1								
B3	0	B 3.1.1	0	B 3.1.1	0	B3	1								
		B 3.1.2	0	B 3.1.2	1										
		B 3.2	0	B 3.2	0										
		B 3.3	0	B 3.3	0										
		C	1	C1	1			C 1.1	0	C 1.1	3	C1	4	C	7
C 1.2.1	0					C 1.2.1	0								
C 1.2.2	0					C 1.2.2	0								
C 1.2.3	0					C 1.2.3	0								
C 1.2.4	0					C 1.2.4	0								
C 1.3.1	0					C 1.3.1	1								
C 1.3.2	1					C 1.3.2	0								
C 1.3.3	0					C 1.3.3	0								
C2	0			C 2.1.1	0	C 2.1.1	1	C2	3						
				C 2.1.2	0	C 2.1.2	0								
				C 2.1.3	0	C 2.1.3	2								
				C 2.1.4	0	C 2.1.4	0								
				C 2.1.5	0	C 2.1.5	0								
				C 2.1.6	0	C 2.1.6	0								
				C 2.1.7	0	C 2.1.7	0								
				C 2.2.1	0	C 2.2.1	0								
				C 2.2.2	0	C 2.2.2	0								
				C 2.2.3	0	C 2.2.3	0								
				C 2.3.1	0	C 2.3.1	0								
				C 2.3.2	0	C 2.3.2	0								
				C 2.3.3	0	C 2.3.3	0								
				C3	0	C 3.1	0			C 3.1	0	C3	0		
						C 3.2	0			C 3.2	0				
Summe:				97	Summe:				97						



Die Übereinstimmung der Klassifizierung nach Magerl et al. im Vergleich zwischen Studienarm A (Röntgen und CT) und B (Röntgen und MRT) war bezüglich der Unterscheidung zwischen A- und Nicht-A-Verletzungen, der Magerl-Typen und -Gruppen überdurchschnittlich und nahm in dieser Reihenfolge schrittweise ab. So fanden sich bezogen auf die Zuordnung von Typ-A- und Nicht-Typ-A-Frakturen Übereinstimmungen in 90,7 % (bei 88 Frakturen) und Unterschiede in 9,3 % (bei 9 Frakturen). Die Einordnung der Verletzungen in die Magerl-Typen unterschied sich in 10 Fällen (10,3 %). Die Magerl-Gruppen betreffend fanden sich in 36 Fällen (37,1 %) differierende Klassifizierungen. Es resultierten 89,7 % bzw. 62,9 % Konkordanz in der Beurteilung der Verletzungstypen bzw. -gruppen. In der Festlegung der Subgruppe 1 (entspricht der Untergruppe mit 3 Stellen, z.B. A 1.2) und der Bestimmung der vollständigen Subgruppenbezeichnung nach Magerl et al. (Subgruppe 2 mit 4 Stellen, z.B. A 1.2.3) hatten die Auswerter in 36,1 % bzw. 35,1 % der Fälle Übereinstimmungen, was 35 bzw. 34 von 97 Wirbelbrüchen entsprach.

Die Berechnung der Interobserverreliabilität für die Unterscheidung von Typ-A- und Nicht-Typ-A-Frakturen bzw. der einzelnen Frakturtypen ergab einen Cohens Kappa von 0,49 bzw. 0,44. Dies entspricht nach Landis und Koch einer moderaten Übereinstimmung (Landis und Koch 1977). In der Betrachtung der Magerl-Gruppen und Subgruppen 1 bzw. 2 ergab dieser Parameter einen Wert von 0,45 bzw. jeweils 0,25; entsprechend einer moderaten bzw. befriedigenden Übereinstimmung. Die jeweiligen p-Werte geben Hinweis auf eine signifikante Reliabilität und wurden neben Angaben zur prozentualen Übereinstimmung in Tabelle 15 genauer ausgeführt.

<b>Tabelle 15</b> Qualität der Klassifizierung nach Magerl et al. (Übereinstimmung und Interobserverreliabilität)									
<b>Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT verglichen mit dem CT (bei 97 Frakturen insgesamt)</b>									
	<b>niedriger klassifiziert</b>		<b>höher klassifiziert</b>		<b>Übereinstimmungen</b>		<b>Cohens</b>	<b>Konfidenz-</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>total</b>	<b>[%]</b>	<b>total</b>	<b>[%]</b>	<b>total</b>	<b>[%]</b>	<b>Kappa</b>	<b>intervall</b>	
<b>A / nicht-A</b>	0	0,0	9	9,3	<b>88</b>	<b>90,7</b>	<b>0,49</b>	(0,21 bis 0,76)	≤ 0,001
<b>Typ</b>	0	0,0	10	10,3	<b>87</b>	<b>89,7</b>	<b>0,44</b>	(0,12 bis 0,70)	≤ 0,001
<b>Gruppe</b>	21	21,6	15	15,5	<b>61</b>	<b>62,9</b>	<b>0,45</b>	(0,33 bis 0,57)	≤ 0,001
<b>Subgruppe 1 (3-stellig)</b>	24	24,7	38	39,2	<b>35</b>	<b>36,1</b>	<b>0,25</b>	(0,15 bis 0,34)	≤ 0,001
<b>Subgruppe 2 (4-stellig)</b>	24	24,7	39	40,2	<b>34</b>	<b>35,1</b>	<b>0,25</b>	(0,16 bis 0,34)	≤ 0,001

Differenzen in der Unterscheidung zwischen Typ-A- und Nicht-Typ-A-Frakturen und in der Evaluierung der Verletzungstypen resultierten ausschließlich daraus, dass der jeweilige Bruch im MRT höher klassifiziert wurde (in 9,3 % bzw. 10,3 %).

Bezüglich der Magerl-Gruppen wurden die Frakturen im Studienarm B (Röntgen und MRT) eher niedriger eingestuft (21,6 % niedrigere gegenüber 15,5 % höheren Klassifizierungen). Bei den Subgruppen 1 und 2 fanden sich häufiger Aggravationen bei der MRT-Betrachtung

(Subgruppe 1: 24,7 % niedrigere gegenüber 39,2 % höheren Bewertungen; Subgruppe 2: 24,7 % niedrigere gegenüber 40,2 % höheren Klassifizierungen; Tabelle 15).

In der Schnittmenge der 97 Frakturen zwischen CT- und MRT-Auswertung fanden sich 92 Wirbelsäulenverletzungen, die im Studienzweig A (Röntgen und CT) dem Typ A zugeordnet wurden (Tabelle 16). Neben einem Hauptanteil von 83 Frakturen (90,2 %), die ebenfalls im Studienzweig B (Röntgen und MRT) als Kompressionsverletzungen klassifiziert wurden, fanden sich neun Frakturen mit einem anderen Frakturtyp. Dabei stufte der Begutachter nach Betrachtung des MRTs 4 dieser Wirbelbrüche als Typ-B- und 5 als Typ-C-Verletzungen ein.

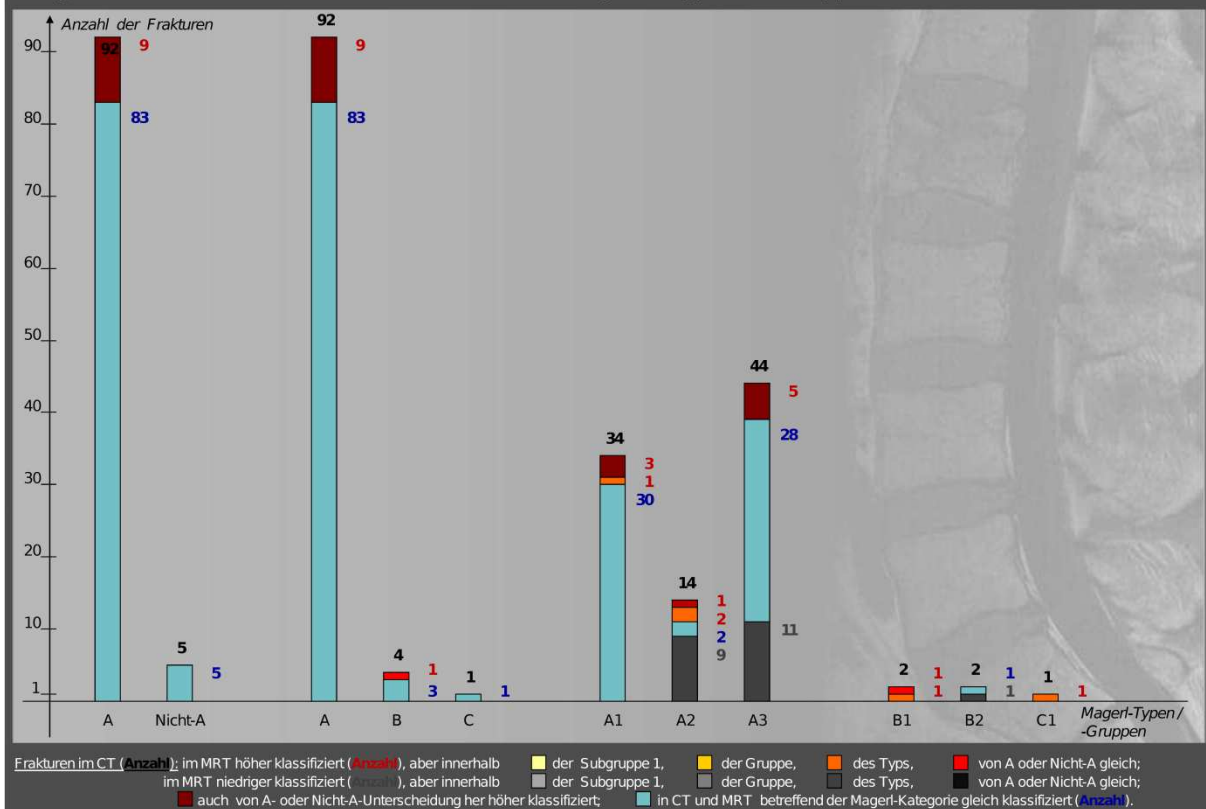
Klassifizierung nach Magerl et al. im CT (Anzahl der Frakturen)				Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT verglichen mit CT (Anzahl)					
Typ	Gruppe	Subgruppe (3-stellig)	Subgruppe (4-stellig)	gleich klassifiziert total	in %	niedriger klassifiziert total	in %	höher klassifiziert total	in %
<b>A</b>	<b>(92)</b>	<b>A1</b>	<b>(34)</b>	<b>83</b>	<b>90,2</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>9</b>	<b>9,8</b>
				30	88,2	0	0,0	4	11,8
				A11 (2)	A11 (2)	1	50,0	0	0,0
				A12 (30)		20	66,7	0	0,0
						20	71,4	0	0,0
						0	0,0	1	100,0
	<b>A2</b>	<b>(14)</b>	<b>(14)</b>			0	0,0	1	100,0
				A121 (28)		0	0,0	0	0,0
				A122 (1)		0	0,0	0	0,0
				A123 (1)		0	0,0	1	100,0
				A13 (2)		0	0,0	1	50,0
						2	14,3	9	64,3
	<b>A3</b>	<b>(44)</b>	<b>(44)</b>	A21 (7)	A21 (7)	0	0,0	4	57,1
				A22 (7)		1	14,3	6	85,7
				A23 (0)		-	-	-	-
						28	63,6	11	25,0
				A31 (25)		8	32,0	5	11,4
						8	32,0	9	36,0
	<b>A31</b>	<b>(22)</b>	<b>(22)</b>	A311 (22)		7	31,8	8	36,4
				A312 (0)		-	-	-	-
				A313 (3)		0	0,0	3	100,0
	<b>A32</b>	<b>(18)</b>	<b>(18)</b>			3	16,7	4	22,2
				A321 (15)		3	20,0	4	26,7
				A322 (3)		0	0,0	3	100,0
				A323 (0)		-	-	-	-
	<b>A33</b>	<b>(1)</b>	<b>(1)</b>			1	100,0	0	0,0
				A331 (0)		-	-	-	-
				A332 (0)		-	-	-	-
				A333 (1)		1	100,0	0	0,0

Hinsichtlich der Magerl-Gruppen differierte die Einschätzung am seltensten bei den leichten Impaktionsbrüchen (Gruppe A1). Ein großer Anteil dieser Übereinstimmungen fand sich in der am häufigsten vertretenen Subgruppe der kranialen Keilbrüche (A 1.2.1 mit 20 konkordanten Klassifizierungen in Subgruppe 2). In dieser Subgruppe fanden sich aber auch die meisten Differenzen innerhalb der Gruppe A1. Dabei wurden unter den 28 im CT als A 1.2.1-Verletzung eingestuften Frakturen im MRT 6 als Wirbelkörperimpaktion (A 1.3) und 2 sogar als Typ-B-Verletzung klassifiziert.

Die 14 Spaltbrüche (Gruppe A2), welche im CT eruiert wurden, konnten im MRT nur in 2 Fällen nachvollzogen werden. Meist wurden die Verletzungen stattdessen als Impaktionsbrüche klassifiziert (in 64,3 %).

Abbildung 14

Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Typen und Gruppen)



Die 44 im CT als Berstungsbruch (Gruppe A3) eingestuft Verletzungen wurden im MRT in 28 Fällen (63,6 %) gleich klassifiziert. Auch hier überwog bei den Differenzen zwischen beiden Studienzweigen eine niedrigere Einschätzung im MRT (25,0 %).

Kraniale inkomplette Berstungsbrüche (A 3.1.1) wurden im Studienzweig B (Röntgen und MRT) häufig als Impaktionsbrüche (Gruppe A1) notiert (36,4 %). Außerdem fand sich bei den Brüchen der Subgruppe A 3.1.1 nach CT-Kriterien etwa genauso oft eine Aggravation im MRT (31,8 %), wobei sich aber meist bei gleicher Gruppe nur die Bezeichnung der Subgruppe unterschied. Nur einmalig wurde stattdessen eine Typ-C-Fraktur klassifiziert.

Die 15 im CT als kraniale Berstungsspaltrbrüche (A 3.2.1) festgelegten Verletzungen, wurden in nur 20,0 % im MRT gleich eingestuft. Dies resultierte am häufigsten aus Differenzen innerhalb der Gruppe (40,0 % entsprechend 6 Frakturen), wobei aus den MRT-Bildern stattdessen Kneifzangen- (Subgruppe A 2.3) und komplette Berstungsbrüche (A 3.3) geschlossen wurden. Allerdings wurden auch zwei A 3.2.1-Verletzungen nach CT-Beurteilung als Magerl-Typ B im Studienzweig B (Röntgen und MRT) klassifiziert. Diese und weitere Details wurden in Tabelle 16 und in den Abbildungen 14 bis 16 weiter ausgeführt.

Abbildung 15

Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Subgruppen 1)

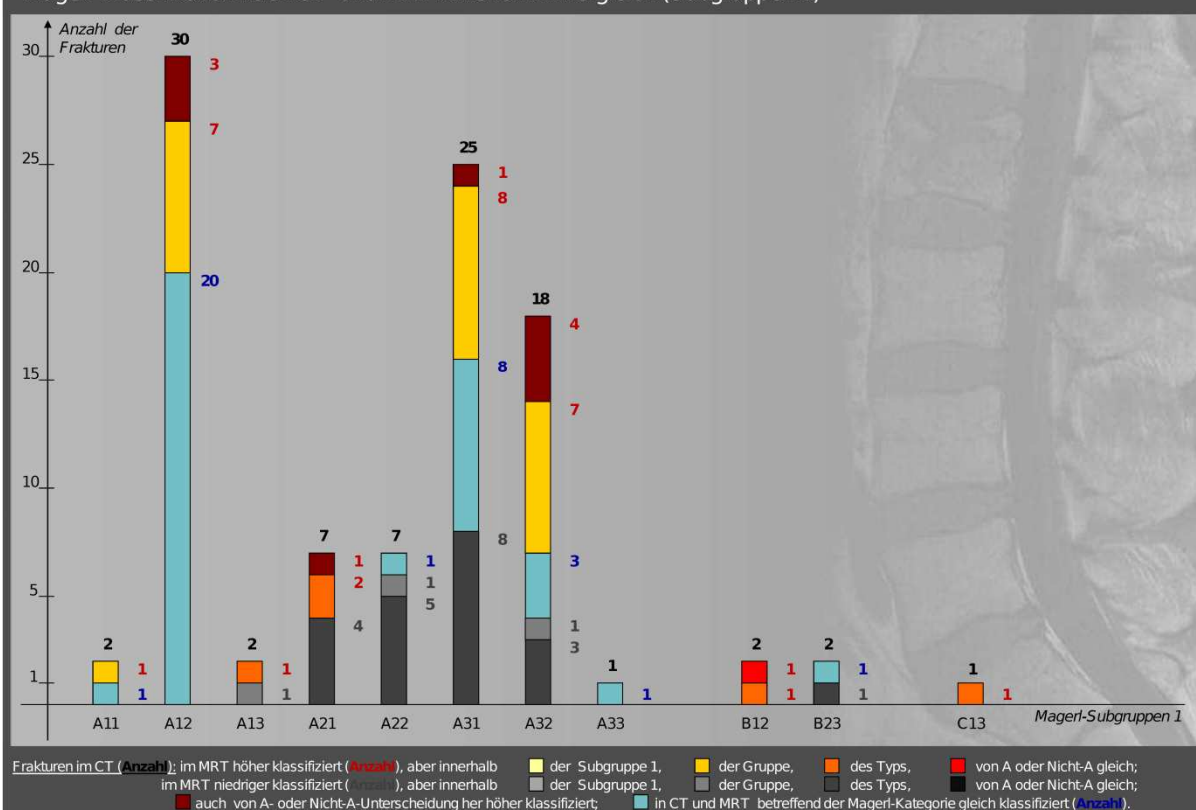


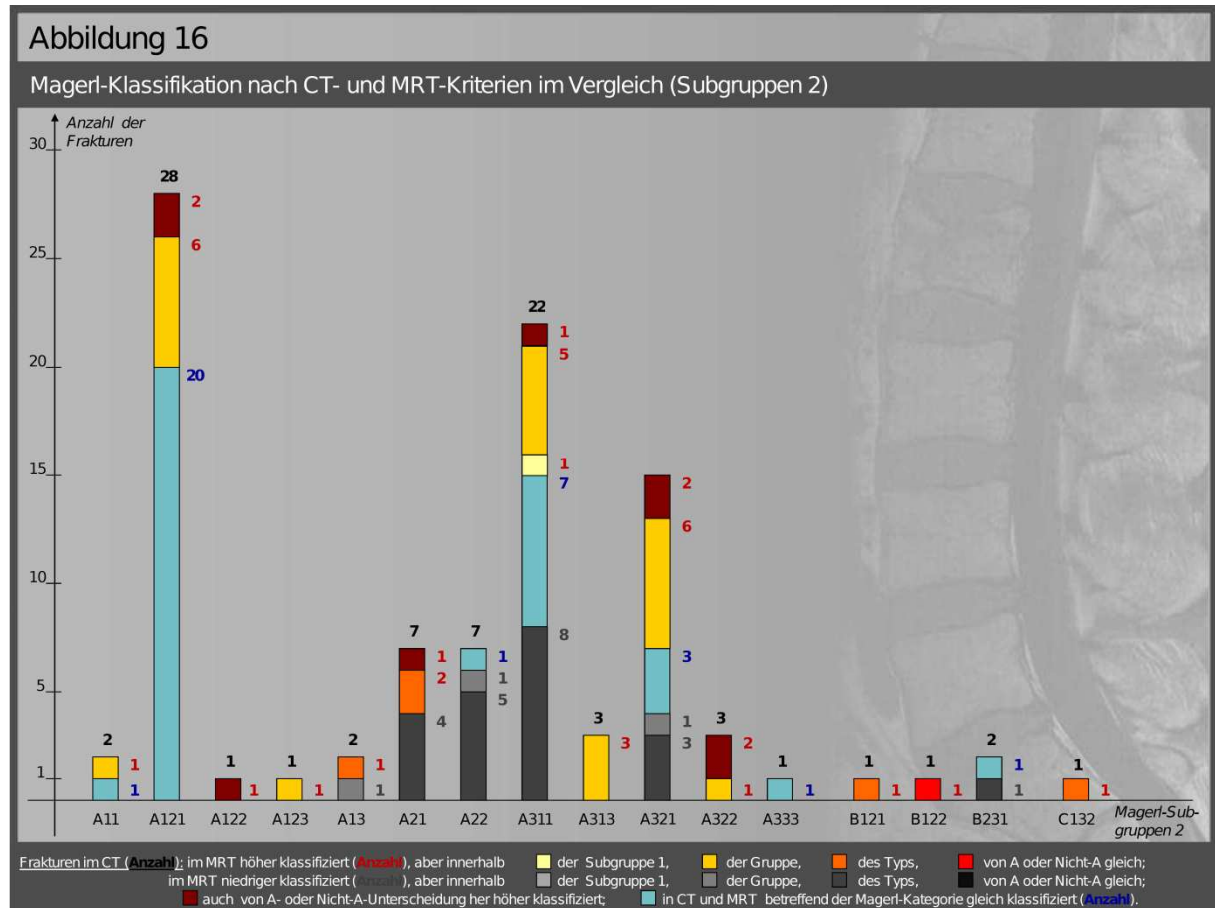
Tabelle 17

Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Typ B)

Klassifizierung nach Magerl et al. im CT (Anzahl der Frakturen)				Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT verglichen mit CT (Anzahl)					
Typ	Gruppe	Subgruppe (3-stellig)	Subgruppe (4-stellig)	gleich klassifiziert total	gleich klassifiziert in %	niedriger klassifiziert total	niedriger klassifiziert in %	höher klassifiziert total	höher klassifiziert in %
B	(4)	B		3	75,0	0	0,0	1	25,0
		B1	(2)	B1		0	0,0	0	0,0
				B11		0	0,0	2	100,0
			(0)	B111		0	0,0	-	-
				B112		0	0,0	-	-
				B113		0	0,0	-	-
			(2)	B12		0	0,0	2	100,0
				B121		0	0,0	1	100,0
				B122		0	0,0	1	100,0
				B123		0	0,0	-	-
		B2	(2)	B2		1	50,0	0	0,0
				B21		-	-	-	-
			(0)	B22		-	-	-	-
				B221		-	-	-	-
				B222		-	-	-	-
				B23		1	50,0	0	0,0
		B3	(2)	B231		1	50,0	0	0,0
				B232		-	-	-	-
			(0)	B31		-	-	-	-
				B311		-	-	-	-
				B312		-	-	-	-
				B32		-	-	-	-
			(0)	B33		-	-	-	-
				B333		-	-	-	-

Nur 4 Wirbelbrüche wurden im Studienzweig A (Röntgen und CT) als Typ-B-Verletzungen eingestuft (Tabelle 17). Einmalig wurde nach Beurteilung der Frakturmerkmale im Studienzweig B (Röntgen und MRT) stattdessen eine Torsionsverletzung (Magerl-Typ C) festgestellt.

Die restlichen 3 Brüche wurden ebenfalls als Distraktionsfrakturen eingeschätzt. Dabei fand sich eine Verletzung, die man im Vergleich zu Studienzweig A (Röntgen und CT) im Studienzweig B (Röntgen und MRT) einer leichteren Frakturgruppe und eine Verletzung, die man danach einer schwereren Frakturgruppe zuordnete. Ein Wirbelbruch wurde in beiden Studienzweigen als Subgruppe B 2.3.1 klassifiziert (Tabelle 17 und Abbildungen 14 bis 16).



Nur eine Torsionsverletzung fand sich nach Beurteilung der Frakturkriterien im CT. Sie wurde als Rotationsberstungsspaltbruch (Subgruppe C 1.3.2) klassifiziert. Nach Betrachtung im MRT hingegen stuft der Begutachter die Verletzung als Rotationsflexionssubluxation (Subgruppe C 2.1.1) ein. Auch diese Details wurden in den Abbildungen 14 bis 16 integriert.

## 6.5 Sensitivität und Spezifität der Röntgen- und MRT-Diagnostik im Vergleich zur Röntgen- und CT-Diagnostik

Die Beurteilungen der Frakturmerkmale im Studienzweig B (Röntgen und MRT) und im Studienzweig A (Röntgen und CT) wurden bei der Schnittmenge der 97 vergleichbaren Frakturen gegenübergestellt. Dabei ergab sich eine ähnliche Merkmalsverteilung, wie bereits im Kapitel 6.1 für Röntgen und CT und im Kapitel 6.2 für den Röntgen und MRT zu erschließen war. Der direkte Vergleich wurde im Folgenden beschrieben, in Tabelle 18 detailliert aufgeschlüsselt und in den Abbildungen 17 bis 19 veranschaulicht.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass Differenzen zwischen den Bewertungen beider Studienzweige häufiger bei Frakturmerkmalen mit einer höheren Inzidenz auftraten.

**Tabelle 18** Frakturmerkmale von CT und MRT im Vergleich

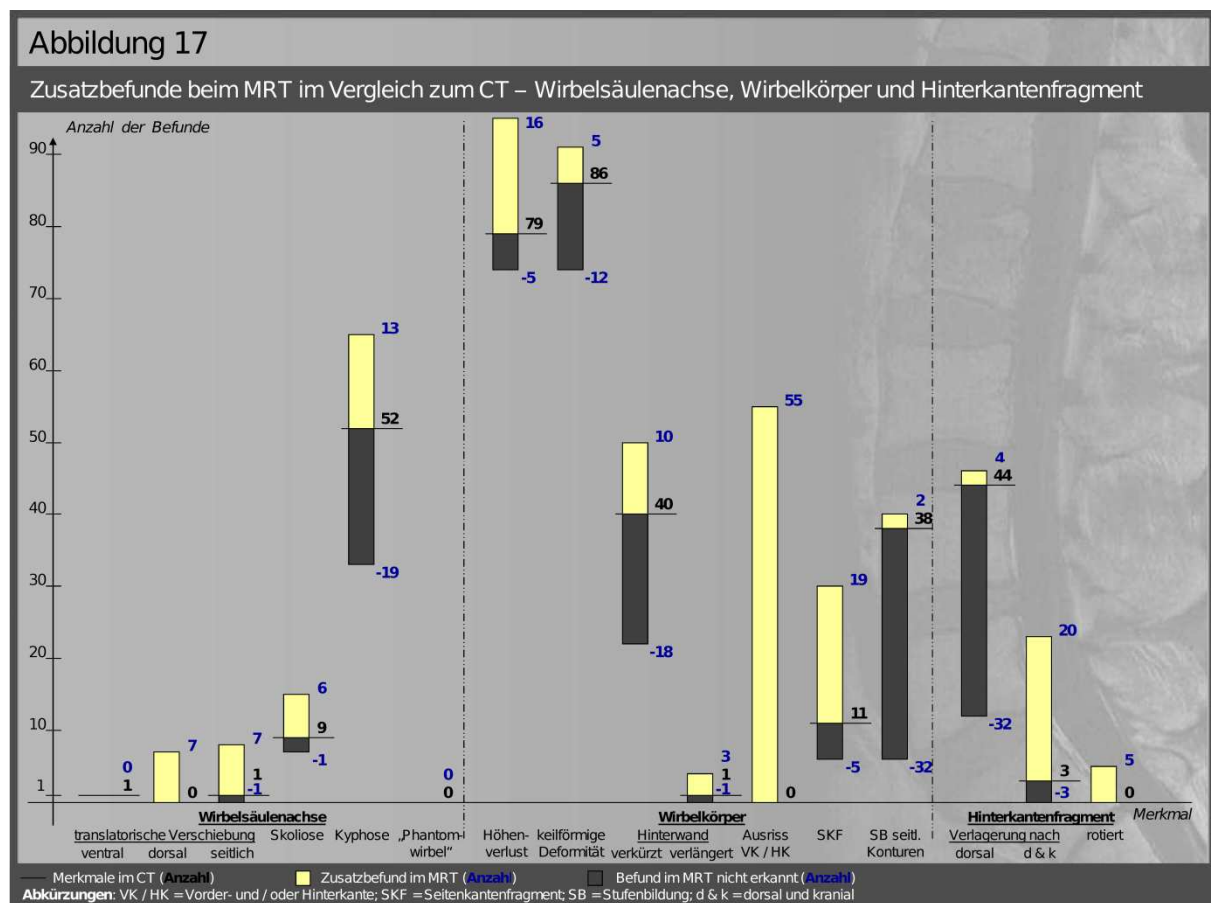
Merkmale (MM)			Merkmale vorgefunden		Vergleich der Merkmale zwischen CT und MRT				Anz. MM nicht beurteilbar		
			Summe positiver MM		MM in CT und MRT		Anz. MM allein positiv				
			im CT	im MRT	gleich	ungleich	im CT	im MRT	im CT	im MRT	
Wirbelsäulenchse	Translatorische Verschiebung (oberer Abschnitt)	nach vorne	1	1	97	0	0	0	0	0	0
		nach hinten	0	7	90	7	0	7	0	0	0
		seitlich	1	7	88	8	1	7	0	0	1
	skoliotische / seitliche Abknickung		9	11	86	10	4	6	0	2	
	kyphotische / lordotische Abknickung		52	47	64	32	19	13	1	0	
	"Phantomwirbel"		0	0	88	0	0	0	0	0	9
Wirbelkörper (WK)	Höhenverlust		79	90	76	21	5	16	0	0	
	Keilförmige Deformierung Hinterwand		86	79	80	17	12	5	0	0	
		verkürzt	40	32	68	28	18	10	1	0	
		verlängert	1	3	93	4	1	3	0	0	
	Ausrißfraktur an Vorder- oder Hinterkante		0	55	41	55	0	55	0	1	
	Abscherung von Seitenkanten des WK		11	25	70	24	5	19	0	3	
	Stufenbildung im Bereich der seitl. Konturen		38	5	58	34	32	2	0	5	
Hinterkanten-fragment	Nur nach dorsal verlagert		11	16	60	36	32	1	0	1	
	Verlagerung nach dorsal und nach kranial		3	20	73	23	3	20	0	1	
	Drehung eines Fragmentes um die Transversalachse		0	5	86	5	0	5	0	6	
Bogenwurzel	Senkrechter Abstand	verkürzt	4	20	68	21	3	18	2	6	
		verlängert	3	3	86	3	2	1	2	6	
	Querer Abstand	5	4	84	6	4	2	2	5		
	Quere Fraktur	2	20	73	19	0	19	0	5		
	Asymmetrische Darstellung	4	33	61	30	1	29	2	4		
Lamina	Längs gespalten		8	3	86	9	7	2	0	2	
	Quere Fraktur		1	6	88	7	1	6	0	2	
Dornfortsätze	Deutliche Vergrößerung des Abstandes		2	10	73	11	1	10	0	13	
	Quere Fraktur		0	2	83	2	0	2	0	12	
	Längs gespalten		0	0	83	2	2	0	0	12	
Querfortsätze	Längs gespalten		0	2	85	2	0	2	0	10	
	Fraktur	Einseitig	12	7	75	12	6	6	0	10	
		Beidseitig	0	1	85	1	0	1	0	11	
Kleine Wirbelgelenke	Subluxation	Einseitig	0	6	89	6	0	6	0	2	
		Beidseitig	5	3	87	8	5	3	0	2	
	Luxation	Einseitig	0	2	93	2	0	2	0	2	
		Beidseitig	0	1	94	1	0	1	0	2	
	„Leere Facette“		1	0	93	1	1	0	0	3	
Gelenkfortsätze	Asymmetrische Darstellung / einseitige Fraktur		0	11	80	11	0	11	0	6	
	Beidseitige Frakturen		0	2	88	2	0	2	0	7	
Interartikular-portion	Fraktur	Einseitig	0	3	86	3	0	3	0	8	
		Beidseitig	2	2	89	0	0	0	0	8	
Rippen	Luxation	Einseitig	1	3	72	4	1	3	0	21	
		Beidseitig	0	1	75	1	0	1	0	21	
	Frakturen	Einseitig	1	3	72	4	1	3	0	21	
		Beidseitig	0	0	76	0	0	0	0	21	
Weichteil-beurteilung	Verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten		0	34	63	34	0	34	0	0	
	Verminderte Höhe des Intervertebralraumes		0	38	59	38	0	38	0	0	
Abkürzungen: MM =Merkmale; Anz. =Anzahl; seitl. =seitlich; WK = Wirbelkörper											

Abkürzungen: MM = Merkmale; Anz. = Anzahl; seitl. = seitlich; WK = Wirbelkörper

Sowohl in den Darstellungen von Röntgen und CT als auch von Röntgen und MRT stellten die Bewerter häufig eine kyphotische oder lordotische Abknickung der Wirbelsäulenachse fest (52 bzw. 47 der 97 Frakturen). Dabei unterschied sich die Einschätzung des Merkmals bei einem Drittel der Frakturen (32 Abweichungen; Tabelle 18 / Abbildung 17).

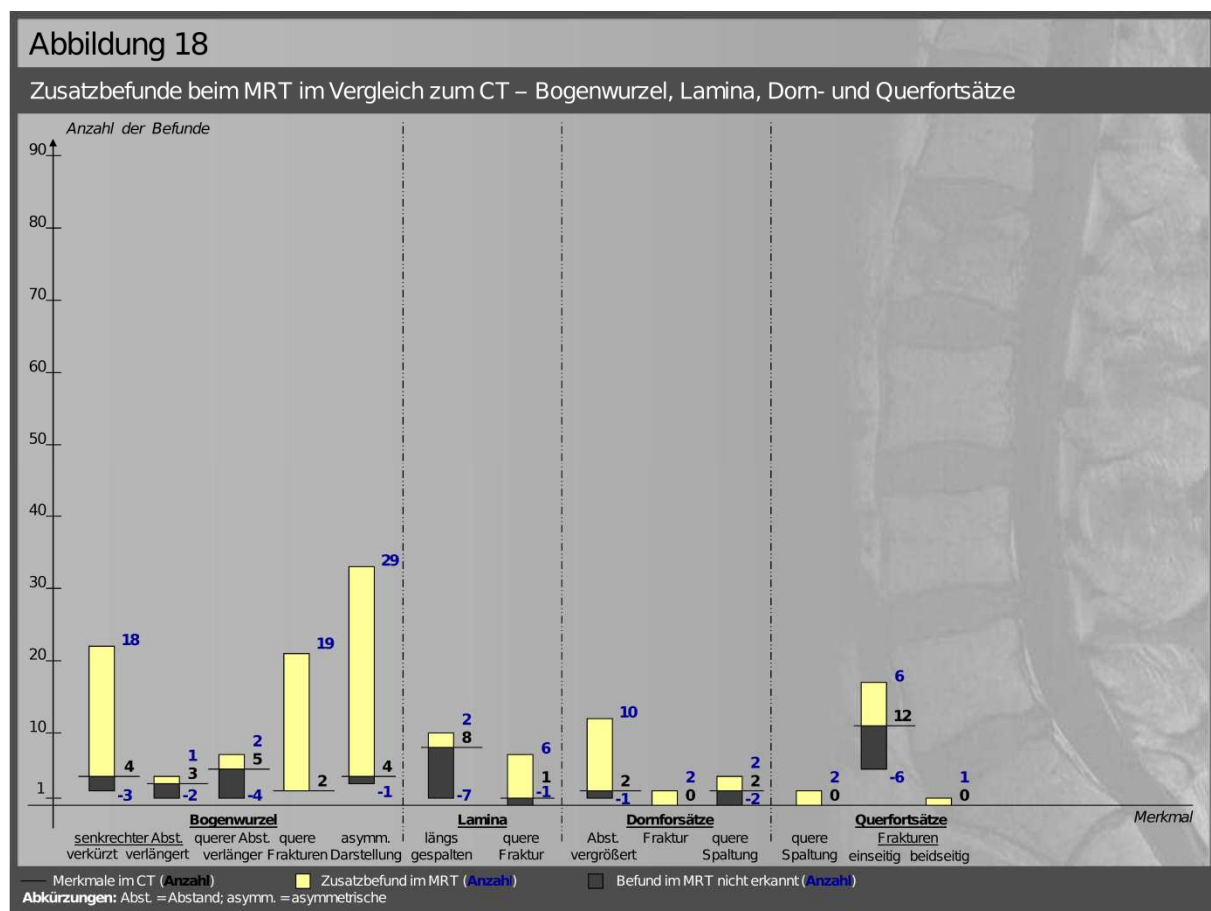
Die Wirbelkörper selbst wurden in beiden Bildmodalitäten meist höhenvermindert (Studienzweig A: 79 bzw. Studienzweig B: 90 Frakturen) und keilförmig deformiert (86 bzw. 79 Frakturen) präsentiert, wobei sich in 21 Fällen für die Höhenminderung und in 17 Fällen bei einer keilförmigen Deformität Differenzen zwischen den Bewertungen der Studienzweige ergaben. Die Wirbelhinterwand erschien jeweils in  $\frac{1}{3}$  der Frakturen verkürzt (40-mal im CT und 32-mal im MRT). Allerdings fanden sich auch hier in 32 Fällen diskordante Angaben.

Unterschiedliche Häufigkeiten wurden auch in der Eruiierung von Ausrissfrakturen der Vorder- bzw. Hinterkanten (keine positiven Merkmale im Studienzweig A [Röntgen und CT] gegenüber 55 im Studienzweig B [Röntgen und MRT]; 55 Abweichungen) und Abscherungen der Seitenkanten der Wirbelkörper auffällig (11 positive Merkmale im Studienzweig A [Röntgen und CT] zu 25 im Studienzweig B [Röntgen und MRT]; 24 Abweichungen). Eine Stufenbildung der seitlichen Wirbelkonturen fand sich vermehrt im CT (38-mal im Gegensatz zu 5-mal im MRT; 34 Abweichungen; Tabelle 18 / Abbildung 17).





Sowohl bei der Beurteilung von Röntgen und CT als auch in Röntgen und MRT wurden bei etwa der Hälfte der Frakturen die Positionen dislozierter Hinterkantenfragmente beschrieben (bei 47 bzw. 37 Frakturen). Abweichungen ergaben sich in der Benennung der Lokalisation. So wurden im CT häufiger Verlagerungen nach dorsal festgestellt (bei 44 Frakturen verglichen mit 16 merkmalspositiven Frakturen im MRT; 36 Abweichungen). Im Studienzweig des MRTs hingegen notierte der Auswerter mehr nach dorsal und kranial verlagerte und rotierte Hinterkantenfragmente (20- bzw. 5-mal verglichen mit 3- bzw. 0-mal im CT; 23 bzw. 5 Abweichungen). Insgesamt wurden 31 der 47 im Studienzweig A (Röntgen und CT) festgestellten Hinterkantenfragmente auch im Studienzweig B (Röntgen und MRT) erkannt. Basierend auf der CT-Auswertung ergaben sich so 16 falsch-negativ und 6 falsch-positiv beurteilte Hinterkantenfragmente nach Begutachtung der Darstellungen im MRT (Tabelle 18 / Abbildung 17).



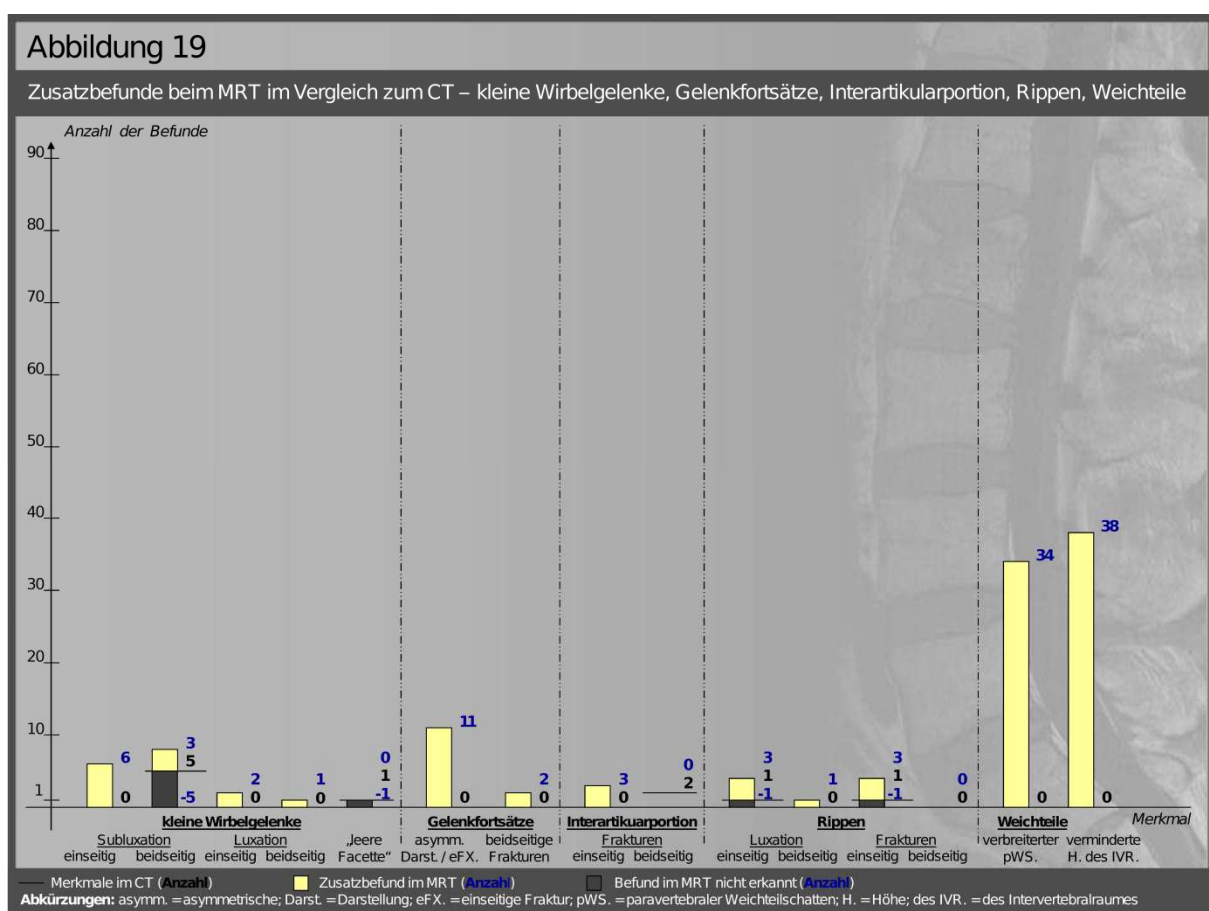
Weitere auffällige Differenzen in der Merkmalsbeurteilung fanden sich bei der Einschätzung der Bogenwurzeln. So fielen dem Betrachter 20 senkrechte Abstandsverminderungen, 20 quere Frakturen und 33 asymmetrische Darstellungen auf. Im CT wurden diese Merkmale nur



in 4, 2 bzw. 4 Fällen als positiv beschrieben, woraus bei 21, 19 bzw. 30 Frakturen diskordante Angaben zwischen den beiden Studienzweigen resultierten (Tabelle 18 / Abbildung 18).

Bei der Begutachtung der weiteren Strukturen des jeweilig gebrochenen Wirbels gab es seltener Differenzen. Etwas vermehrt wurde im MRT eine Vergrößerung des Abstandes der Dornfortsätze notiert (bei 10 Frakturen verglichen zu 2 Frakturen im CT; Tabelle 18 / Abbildung 18). Auch die Gelenkfortsätze wurden im Studienzweig B (Röntgen und MRT) bei 11 Wirbeln als asymmetrisch dargestellt oder als einseitig gebrochen beschrieben. Im Studienzweig A (Röntgen und CT) hingegen wurde dieses Merkmal in keinem Fall als positiv bewertet (Tabelle 18 / Abbildung 19).

Die Beurteilung der Weichteile war relativ häufig abweichend. Während die einzuschätzenden Merkmale im CT in allen Fällen unauffällig erschienen, wurde im MRT bei 34 Frakturen ein verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten und in 38 Fällen eine Verminderung der Höhe des Intervertebralraumes notiert. So wichen die Angaben bei 34 bzw. 38 Wirbelbrüchen ab (Tabelle 18 / Abbildung 19).



In beiden Studienzweigen hatten die Auswerter die Möglichkeit das jeweilige Merkmal als nicht beurteilbar einzustufen. Dies geschah bei Betrachtung der Frakturen im Röntgen und CT äußerst selten, dabei aber am häufigsten bei der Beurteilung der Bogenwurzeln (bei 2 Frakturen). Im Studienzweig des MRTs wurde diese Option in höherer Anzahl gewählt. Am häufigsten bei der Einschätzung der Rippen (bei 21 Frakturen), der Dorn- und Querfortsätze (bei 12 bis 13 bzw. 10 bis 11 Frakturen), und der Bogenwurzeln (bei 4 bis 6 Frakturen; Tabelle 18).

Da sich das CT in der Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen und speziell in der Einschätzung der Frakturmerkmale zuletzt stark etablierte, wurde sich dafür entschieden den diagnostischen Wert des MRTs durch die Errechnung einer relativen Sensitivität und Spezifität auf Basis der computertomografischen Merkmalseinschätzung zu quantifizieren (Tabelle 19). In Abbildung 20 wurde am Beispiel der Summe aller Merkmale die zugrundeliegende Vierfeldertafel dargestellt.

**Abbildung 20**

Berechnung der Sensitivität und Spezifität des MRTs in der Vierfeldertafel am Beispiel der Summe aller Merkmale

		Summe aller Merkmale im CT			
		positiv		negativ	
Summe aller Merkmale im MRT	positiv	richtig positiv (rp)	<b>242</b>	falsch positiv (fp)	<b>377</b>
	negativ	falsch negativ (fn)	<b>167</b>	richtig negativ (m)	<b>3222</b>
		Sensitivität = $\frac{rp}{rp + fn}$		Spezifität = $\frac{m}{m + fp}$	
		= <b>0,59</b>		= <b>0,90</b>	

Bezogen auf alle Merkmale resultierte für die Frakturbeurteilung im MRT eine Sensitivität von 0,59 (59 %) und eine Spezifität von 0,90 (90 %).

Bei der Evaluierung der Beurteilungsgüte der einzelnen Bruchmerkmale fiel grundsätzlich, bei einer niedrigen Inzidenz, eine niedrige Anzahl richtig und falsch positiver, sowie falsch negativer Merkmale neben einem Hauptanteil an richtig negativ bewerteten Strukturen auf. Somit stand eine hohe Spezifität meist einer geringeren Sensitivität der Merkmalsdarstellung des MRTs gegenüber. Dabei ergab die Sensitivität für die Beurteilung der Wirbelsäulenachse und des Wirbelkörpers relativ hohe Werte, während sie für die Einschätzung kleinerer Anteile des Wirbels meist niedrig war.

**Tabelle 19** Sensitivität und Spezifität des MRTs bei der Beurteilung von Frakturmerkmalen basierend auf dem CT

Merkmale (MM)			Merkmale im MRT basierend auf Bewertung der Merkmale im CT				Summen		Bewertung im MRT	
			Einordnung entsprechend einer Vierfeldertafel							
			rp	fn	fp	m	rp + fn	fp + m	Sensitivität	Spezifität
Wirbelsäulenachse	Translatorische Verschiebung (oberer Abschnitt)	nach vorne	1	0	0	96	1	96	1,00	1,00
		nach hinten	0	0	7	90	0	97	-	0,93
		seitlich	0	1	7	88	1	95	0,00	0,93
	skoliotische / seitliche Abknickung		5	4	6	81	9	87	0,56	0,93
	kyphotische / lordotische Abknickung		33	19	13	31	52	44	0,63	0,70
"Phantomwirbel"			0	0	0	88	0	88	-	1,00
Wirbelkörper (WK)	Höhenverlust		74	5	16	2	79	18	0,94	0,11
	Keilförmige Deformierung		74	12	5	6	86	11	0,86	0,55
	Hinterwand	verkürzt	22	18	10	46	40	56	0,55	0,82
		verlängert	0	1	3	93	1	96	0,00	0,97
	Ausrissfraktur an Vorder- oder Hinterkante		0	0	55	41	0	96	-	0,43
	Abscherung von Seitenkanten des WK		6	5	19	64	11	83	0,55	0,77
	Stufenbildung im Bereich der seitl. Konturen		3	32	2	55	35	57	0,09	0,96
Hinterkanten-fragment	Nur nach dorsal verlagert		12	32	4	48	44	52	0,27	0,92
	Verlagerung nach dorsal und nach kranial		0	3	20	73	3	93	0,00	0,78
	Drehung eines Fragmentes um die Transversalachse		0	0	5	86	0	91	-	0,95
Bogenwurzel	Senkrechter Abstand	verkürzt	1	3	18	67	4	85	0,25	0,79
		verlängert	1	2	1	85	3	86	0,33	0,99
	Querer Abstand	verkürzt	1	4	2	83	5	85	0,20	0,98
		verlängert	2	0	19	71	2	90	1,00	0,79
	Asymmetrische Darstellung		3	1	29	58	4	87	0,75	0,67
Lamina	Längs gespalten		1	7	2	85	8	87	0,13	0,98
	Quere Fraktur		0	1	6	88	1	94	0,00	0,94
Dornfortsätze	Deutliche Vergrößerung des Abstandes		0	1	10	73	1	83	0,00	0,88
	Quere Fraktur		0	0	2	83	0	85	-	0,98
	Längs gespalten		0	2	0	83	2	83	0,00	1,00
Querfortsätze	Längs gespalten		0	0	2	85	0	87	-	0,98
	Fraktur	Einseitig	1	6	6	74	7	80	0,14	0,93
		Beidseitig	0	0	1	85	0	86	-	0,99
Kleine Wirbelgelenke	Subluxation	Einseitig	0	0	6	89	0	95	-	0,94
		Beidseitig	0	5	3	87	5	90	0,00	0,97
	Luxation	Einseitig	0	0	2	93	0	95	-	0,98
		Beidseitig	0	0	1	94	0	95	-	0,99
	„Leere Facette“		0	1	0	93	1	93	0,00	1,00
Gelenkfortsätze	Asymmetrische Darstellung / einseitige Fraktur		0	0	11	80	0	91	-	0,88
	Beidseitige Frakturen		0	0	2	88	0	90	-	0,98
Interartikular-portion	Fraktur	Einseitig	0	0	3	86	0	89	-	0,97
		Beidseitig	2	0	0	87	2	87	1,00	1,00
Rippen	Luxation	Einseitig	0	1	3	72	1	75	0,00	0,96
		Beidseitig	0	0	1	75	0	76	-	0,99
	Frakturen	Einseitig	0	1	3	72	1	75	0,00	0,96
		Beidseitig	0	0	0	76	0	76	-	1,00
Weichteil-beurteilung	Verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten		0	0	34	63	0	97	-	0,65
	Verminderte Höhe des Intervertebralraumes		0	0	38	59	0	97	-	0,61
Summe			242	167	377	3222	409	3599	0,59	0,90

Abkürzungen: MM = Merkmale; rp = richtig positiv; fn = falsch negativ; fp = falsch negativ; rp = richtig negativ; seitl. = seitlich; WK = Wirbelkörper

Eine Ausnahme stellte die Bewertung der translatorischen Verschiebung der Wirbelsäulenachse seitlich dar. Das einmalige Auftreten dieses Merkmals im Studienarm A (Röntgen und CT) konnte im Studienarm B (Röntgen und MRT) nicht nachvollzogen werden. Weiterhin wurde das zweimalige Vorkommen einer beidseitigen Fraktur der Interartikularportion sowohl im CT als auch im MRT erkannt, woraus eine Sensitivität von 1,00 (100 %) für dieses Merkmal resultierte. Die Spezifität der Strukturbeurteilung im MRT war für nur 6 Merkmale unter 75 %. Dies wurde z.B. für eine kyphotische oder lordotische Abknickung der Wirbelsäulenachse errechnet (Spezifität = 0,70).

Auch in der Bewertung des Wirbelkörpers ergab die Berechnung der Spezifität einen niedrigeren Wert bei der Einschätzung des Vorkommens eines Höhenverlusts (0,11), einer

keilförmigen Deformierung (0,55) und von Ausrissfrakturen der Vorder- oder Hinterkanten (0,43). Auf Basis dieser Berechnungen zeigte das MRT bedeutend mehr positive Verletzungsmerkmale bezüglich der Weichteilschatten und Intervertebralräume als das CT, weshalb eine geringe relative Sensitivität errechnet wurde (0,65 bzw. 0,61).

## **6.6 Zusammenhang zwischen Operationsindikation und MRT-Befund**

Unter allen 89 verglichenen Patienten mit 97 Frakturen wurde bei 23 Patienten mit 24 Frakturen eine klare Operationsindikation bereits aufgrund des CT-Befundes gestellt. Betreffende Wirbelsäulenverletzungen wurden nach der Magerl-Klassifikation als Rotations- (Typ C), Distraktions- (Typ B) oder komplette Berstungs- (Gruppe A 3.3) bzw. Berstungsspaltbrüche (Gruppe A 3.2) klassifiziert und gingen höchstwahrscheinlich mit einer mechanischen und z.T. neurologischen Instabilität einher. Alle Patienten dieser Gruppe wurden operativ stabilisiert. In 18 Fällen wand man eine zweizeitige anterior-posteriore Therapiestrategie an. 4 Patienten mit 5 Frakturen wurden ausschließlich dorsal stabilisiert und ein Patient wurde nach Einbringung eines Fixateur interne in einer zweiten Sitzung aufgrund erhöhter Risiken des anterioren Vorgehens mittels dorsolateraler Spondylodese behandelt.

In 11 Fällen dieser Gruppe fand sich ein epidurales Hämatom, welches offen dekomprimiert werden musste. Bei 4 der damit betroffenen Patienten waren präoperative neurologische Ausfälle assoziiert (Frankel-/ASIA-Grad A bis D je einmal). Bei allen Frakturen war zumindest eine der angrenzenden Bandscheiben im MRT als verletzt dargestellt. Sie wurde bei den 18 Patienten, welche man einer kombinierten anterior-posterioren Therapie unterzog, jeweils im vorderen Zugang ersetzt. In den anderen Fällen räumte der Operateur den Bandscheibenraum von posterior aus. Einmalig wurde später nichts über das diesbezügliche intraoperative Vorgehen berichtet.

Neben einem hohen Affektionsgrad der Bandstrukturen der vorderen und mittleren Säule nach Denis (Denis 1983) fand sich auch ein bedeutender Anteil an Verletzungen des PLC in dieser Gruppe, wie es bereits in Kapitel 6.2 näher ausgeführt wurde. Dabei erfolgte bei 4 Patienten, welchen nach Auswertung der CT-Bilder die Diagnose einer Kompressionsfraktur (Magerl-Typ A) zugeschrieben worden wäre, durch die Befunde im MRT eine Erhöhung des Frakturtyps auf eine Distraktions- oder Rotationsfraktur (Magerl-Typ B bzw. C).

Eine Auswirkung der MRT-Befunde auf die Operationsindikation war allerdings besser in der verbleibenden Gruppe von Frakturen quantifizierbar. Nach Auswertung der Daten von

Röntgen und CT im Studienzweig A wurden insgesamt 72 Wirbelbrüche bei 66 Patienten als Gruppe-A1- (Impaktionsbrüche), Gruppe-A2- (Spaltbrüche), oder Subgruppe-A 3.1-Frakturen (inkomplette Berstungsbrüche) nach Magerl et al. klassifiziert. Da bei diesen Frakturen keine klare mechanische Instabilität bestand, hätten diese Patienten normalerweise konservativ behandelt werden können. In einigen Fällen bestand jedoch eine Operationsindikation aufgrund anderer diagnostischer Parameter.

Unter den 66 Patienten dieser Gruppe wurden 20 Betroffene mit 21 Frakturen konservativ behandelt. Bei den verbleibenden 46 Patienten wurde sich für ein operatives Vorgehen entschieden, wobei in 35 Fällen bzw. bei 40 Frakturen eine zweizeitige kombiniert anterior-posteriore Stabilisierung gewählt wurde. 5 Patienten mit insgesamt 5 beurteilten Wirbelbrüchen wurden in einer Sitzung allein von dorsal stabilisiert. Bei einem Patienten entschied man sich für eine alleinig dorsale Fixierung mit angeschlossener transpedikulärer Spondyloplastik. Drei Patienten wurden zwecks Stabilisierungen von Mehretagenfrakturen auf zwei Höhen 3 Operationen unterzogen und einmal wurde die kombinierte anterior-posteriore Behandlung in einer Sitzung getätigt. Außerdem wurde ein Patient im Rahmen der ersten Operation auf zwei Etagen dorsal stabilisiert und gleichzeitig auf der unteren Etage mittels Cage im Bandscheibenraum behandelt, während die vordere Stabilisierung der oberen Etage in einer zweiten Sitzung erfolgte.

Unter den operativ versorgten Patienten fand sich im präoperativen MRT in 44 Fällen eine Bandscheibenverletzung und in 4 Fällen ein epidurales Hämatom. Bei 3 Patienten wurde eine Affektion des hinteren Bandkomplexes dargestellt, was zu einer Hochstufung des Magerl-Typs aufgrund einer Distraktionskomponente führte. Dabei wurden keine indirekten Zeichen nach Auswertung des CTs notiert. 5 der Patienten dieser Gruppe zeigten bei der Aufnahme ein neurologisches Defizit (Frankel- /ASIA-Grad A einmal und D viermal). Dabei stellte sich bei 2 Personen, die von motorischen, aber nicht sensiblen Ausfällen betroffen waren, ein frakturassoziertes epidurales Hämatom dar.

Von den 25 in diese Gruppe eingeschlossenen Patienten, bei denen die Klassifizierung der Wirbelsäulenverletzung einen inkompletten Berstungsbruch ergab, wurden 21 Patienten mit 21 Frakturen operiert. Bei diesen Personen zeigte sich in 15 Fällen ein Hinterkantenfragment in beiden verglichenen Bildmodalitäten und zweimal ausschließlich im CT. Dislokationen dieses Fragmentes in den Spinalkanal wurden bei 12 Frakturen in beiden Studienzweigen eruiert. In den restlichen drei Fällen wurde die Veränderung nur im Studienzweig A (Röntgen und CT) beschrieben. Bei einem Patienten trat dieses Frakturmerkmal assoziiert mit neurologischen Ausfällen (Frankel- /ASIA-Grad D) auf.

## 7 Diskussion

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Bandbreite möglicher therapeutischer Verfahren gewann die Entwicklung wissenschaftlich basierter Therapierichtlinien immer mehr an Bedeutung. Ziel war es einer guten Diagnostik sukzessive die optimale Behandlungsmöglichkeit anzuschließen.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden zum einen die optionalen Therapien geprüft und bewertet. So zeigte sich beispielsweise wiederholt ein höherer intraoperativer Blutverlust und eine längere Strahlungs- bzw. Operationszeit bei der kombiniert dorsoventralen Stabilisierung im Vergleich zu anderen Zugängen (Danisa et al. 1995, Knop et al. 2000 [Strahlungszeit aufgrund transpädikulärer Spongionplastik höher], Reinhold et al. 2009 b, Verlaan et al. 2004). Die Rekyphosierungsrate konnte im Laufe der Jahre bei allen Operationsvarianten annähernd gleich vermindert werden (Gertzbein 1992, Knop et al. 2001, Reinhold et al. 2009 c). Dennoch zeigte sich nach der kombiniert dorsoventralen Behandlung ein geringerer Korrekturverlust in der Nachuntersuchung als bei anderen Therapiestrategien (Knop et al. 2001, Reinhold et al. 2009 c). Bei der postoperativen Funktionalität wurden oft keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen festgestellt (Danisa et al. 1995, Knop et al. 2001, Reinhold et al. 2009 c [allein dorsal Stabilisierte etwas besser]). Es konnte mittels ventraler Stabilisierung, einzeln oder in Kombination mit dorsaler Instrumentierung, mit höherer Wahrscheinlichkeit ein Materialversagen verhindert werden (McCormarck et al. 1994, Verlaan et al. 2004).

Desweiteren sollte die Art der Wirbelsäulenverletzung mit den optimalen diagnostischen Mitteln erschlossen werden um ihr eine entsprechende Therapie gegenüberstellen zu können. In diesem Zusammenhang ging die Entwicklung diagnostischer Möglichkeiten Hand in Hand mit der Entwicklung neuer Verletzungsklassifikationen und resultierender Therapieempfehlungen.

Computertomographische und magnetresonanztomographische Darstellungen wurden in den letzten drei Jahrzehnten immer weiter verbreitet und zunehmend auch in der Diagnostik von Wirbelsäulenfrakturen anerkannt (Fortin 2002, Hesselink 1988, Josten und Katscher 2003, Saifuddin et al. 1996). Aufbauend auf diesen Entwicklungen sollten die Ergebnisse dieser Studie betrachtet werden.

## 7.1 Die klinischen Ergebnisse und ihre Bedeutung

Aufgrund der typischen Verteilung von Alter und Geschlecht der Patienten, sowie Frakturlokalisation und -klassifizierung in der vorliegenden Studie, konnte von einem repräsentativen Patientenkollektiv ausgegangen werden. In Tabelle 20 wurden Kollektive verschiedener großer Studien der eigenen Patientengruppe gegenübergestellt um dies zu unterstreichen (Gertzbein 1992, Hu et al. 1996, Knop et al. 1999, Knop et al. 2000, Reinhold et al. 2009 a, Reinhold et al. 2009 b).

Merkmal	Vorliegende Studie	Reinhold et al. 2009	Knop et al. 1999 bis 2000	Hu et al. 1996	Gertzbein 1992
<b>Art der Studie</b>	Prospektive lokale Studie	Multicenter-Studie	Multicenter-Studie	Versicherungsdatenbankauswertung	Multicenter-Studie
Erfassungszeitraum (Zeitpunkt des Erstkontaktes)	2002 bis 2006	2002 bis 2003	1994 bis 1996	1981 bis 1994	1986 bis 1990
Erfassungsregion	Mitteldeutschland	Deutschsprachiges Europa	Deutschsprachiges Europa	Manitoba - Kanada	12 Länder (U.S.A.)
<b>Wichtige Unterschiede in Ein- und Ausschlusskriterien</b>	-	Konservativ behandelte Patienten mit Magerl-Subgruppe A 2.2 und geringer wurden ausgeschlossen, kein Ausschluss pathologischer Frakturen	Nur operierte Frakturen der Wirbel Th 10 bis L 2, kein Ausschluss pathologischer Frakturen	Auch Patienten mit zervikalen Frakturen, kein Ausschluss pathologischer Frakturen	-
<b>Gesamtzahl der Patienten</b>	100	865	682	944	1019
<b>Geschlecht</b>					
(%) Anteil Männer	68,0	62,7	63,9	60,0	66,8
Anteil Frauen	32,0	37,3	36,1	40,0	33,2
<b>Alter</b>					
(Jahre) Durchschnittsalter (Jahre)	43,5	44,0	39,5	keine Angabe	31,7
Spanne (Jahre)	16 bis 81	16 bis 95	7 bis 83		11 bis 88
<b>Altersverteilung</b>					
(%) <20 Jahre	10,0	9,7	8,5	keine Angaben	keine Angaben
21 bis 40 Jahre	29,0	36,6	46,0		
41 bis 60 Jahre	47,0	32,6	36,1		
>60 Jahre	14,0	21,0	9,4		
Altersspanne (Jahre)	16 bis 81	16 bis 95	7 bis 83		11 bis 88
Altersdurchschnitt (Jahre)	43,5	44,0	39,5		31,7
<b>Unfallursache</b>					
(%) Sturz aus der Höhe	32,0	31,9	50,4	Am häufigsten	28,0
Verkehrsunfall	30,0	26,5	22,1	Platz 2	51,0
Banaler Sturz	20,0	22,4	14,1	Platz 3	6,0
<b>Höhenverteilung der Frakturen</b>					
(%) BWS (BWK 1 bis 10)	40,5	18,3		41,6	16,0
TLÜ (BWK 11 bis LWK 2)	51,0	68,8	Nur TLÜ-Frakturen eingeschlossen	Nicht unterschieden	52,0
LWS (LWK 3 bis 5)	8,5	12,9		58,4	32,0
<b>Magerltypen</b>					
(%) A	87,0	63,3	64,9	keine Angaben	Denis-Klassifikation
B	7,0	20,9	19,9		
C	6,0	15,7	15,2		
<b>Magerltypen in der Höhenverteilung</b>					
(%) Typ A	77,8	28,5	keine Angaben	keine Angaben	Denis-Klassifikation
Typ B	11,1	36,7			
Typ C	11,1	34,8			
TLÜ	90,6	70,9			
LWS	88,9	72,3			
<b>Frankel- / ASIA-Klassifikation</b>					
(%) E	91,0	77,0	79,4	89,2	55,0
D bis B	7,0	15,0	15,6	keine Angaben	26,0
A	2,0	8,0	5,0	keine Angaben	19,0
<b>Häufigste Begleitverletzungen</b>					
(%) Kopf	21,0	22,7	25,1	14,0	keine Angaben
Thorax	21,0	44,3	34,1	9,2	
Extremitäten	26,0	31,8	62,7	20,0	
Keine Begleitverletzung	56,0	50,9	57,9	58,0	
<b>Therapie</b>					
(%) Konservativ	22,0	6,6	keine	keine Angaben	19,5
Operativ	78,0	93,4			80,5
- Dorsal unter Operierten	16,7	51,9	65,7		76,0
- Kombiniert unter Operierten	83,3	43,5	28,9		10,2
- Ventral unter Operierten	0,0	4,6	5,4		13,8

Differenzen in den Charakteristiken der Untersuchungsgruppen können durch aufgeführte Unterschiede in den Ein- und Ausschlusskriterien erklärt werden. Beispielsweise seien Frakturen der Magerl-Gruppe A1 in der von Reinhold et al. publizierten Multicenter-Studie verglichen zur Normalpopulation unterrepräsentiert, was sich auf den Ausschluss konservativ

behandelter Patienten mit Wirbelbrüchen der Magerl-Subgruppe A 2.2 und geringer zurückführen ließe (Reinhold et al. 2009 a).

Auch bei der Betrachtung von Unfallursache, Begleitverletzungen und Einschätzung des neurologischen Defizits mittels Frankel-/ASIA-Score zeigten sich deutliche Parallelen.

Genauso wie in der vorliegenden Studie so verstrich in der Multicenter-Studie von Reinhold et al. bei der Betrachtung von 865 Patienten eine Zeit von 0 Tagen im Median zwischen Unfall und Aufnahme. Der Zeitraum vom Unfall bis zum ersten operativen Eingriff wurde auch dort mit einem durchschnittlichen Wert von 2 Tagen angegeben (Reinhold et al 2009 b).

Einerseits setzte sich die Therapie mittels Operation bei Distraktions- und Rotationsfrakturen sowie bei Verletzungen mit neurologischem Defizit weitestgehend durch. Andererseits bestand bei weiteren Indikationen und bei der Wahl des Verfahrens Uneinigkeit (Agus et al. 2005, Blauth et al. 1999, Knop et al. 1999, Reinhold et al. 2003, Reinhold et al. 2009 a, Siebenga et al. 2006, Vaccaro et al. 2006, Van der Roer et al. 2005, Verlaan et al. 2004, Wolter et al. 2001). Dennoch ließen sich in den letzten Jahren allgemeine Trends verfolgen, welche auch in Tabelle 20 bestätigt wurden. So gewann nach einem Höhepunkt alleinig dorsaler Verfahren in den 90er Jahren (Danisa et al. 1995, Verlaan et al. 2004) die kombiniert dorsoventrale Behandlung zunehmend mehr an Gewicht (Delawi et al. 2007, Knop et al. 2000, Reinhold et al 2009 b). Bei der Auswahl der Implantate bestand ein allgemeiner Trend zur Anwendung winkelstabiler Fixateursysteme im dorsalen Bereich. Die Technik einer transpedikulären Spongionoplastik wurde immer weniger angewandt (Knop et al. 2000, Reinhold et al 2009 b). Außerdem konnte eine wachsende Bedeutung minimalinvasiver Verfahren und computerassistierter Navigation beobachtet werden (Reinhold et al. 2009 b).

Die wachsende Zahl von Wirbelsäulenverletzungen bei Patienten mit degenerativen Erkrankungen wurde in dieser Studie ausgeschlossen, sollte aber im Gesamtbild beachtet werden, da auch vielen andere Autoren ihre zunehmende Bedeutung anerkannten (Chapman und Bransford 2007). Besonders hier spielte die Augmentation mit Knochenzement z.B. mittels Kypho- und Vertebroplastie eine starke Rolle (Court-Brown und Caesar 2006, Galacher et al. 2007, Garfin et al. 2006, Hulme et al. 2006, Reinhold et al. 2009 b, Weinstein et al. 2003).

In dieser Promotionsstudie wurden 100 Patienten mit Verdacht auf eine Wirbelsäulenfraktur prospektiv mittels Röntgen, CT und MRT untersucht. Die Darstellungen der festgestellten Wirbelsäulenbrüche wurden in zwei Studienzweigen (A: Röntgen und CT mit 124 Frakturen; B: Röntgen und MRT mit 111 Frakturen) ausgewertet und in Betrachtung einer gemeinsamen Schnittmenge von 97 Frakturen bei 89 Patienten gegenübergestellt. Zur Ausführung und



Diskussion bedeutender Ergebnisse wurden die Beurteilungen aus Studienzweig A (Röntgen und CT) häufig als Basis dargestellt, während mit den Ergebnissen aus Studienzweig B (Röntgen und MRT) eine relative Gegenüberstellung mit dieser Basis erfolgte. Dieser Ansatz bot sich infolge des Studienaufbaus an und resultierte zudem daraus, dass im Vergleich zwischen CT- und MRT-Diagnostik die computertomographische Darstellung etablierter war. Darüber hinaus basierte auf dieser Modalität auch die angewandte Merkmalsbegutachtung (Darstellung 3 – Kapitel 11) und Klassifikation nach Magerl et al. (1994).

Zur Grundlage der radiologischen Beurteilung der Wirbelsäulenstrukturen gehört die Suche nach Auffälligkeiten in der Anordnung der Wirbelkörper zueinander.

Veränderungen des Alignements der Wirbelsäulenachse wurden in dieser Studie bei 58,1 % der Frakturen im Studienzweig A (Röntgen und CT) und bei 56,8 % der Brüche im Studienzweig B (Röntgen und MRT) notiert. Die mit Abstand häufigste Fehlstellung der Wirbelsäulenachse war eine Abknickung in der Sagittalebene (Studienzweig A: 54,8 %; Studienzweig B: 49,5 %), meist einer Kyphose entsprechend. Abknickungen in der Frontalebene fanden sich bedeutend seltener (Studienzweig A: 8,9 %; Studienzweig B: 9,9 %).

Bereits im Studienzweig B (Röntgen und MRT) war aufgefallen, dass in 17 % der Fälle schon Alignementunterschiede (Vorhandensein einer Kyphose oder nicht) zwischen den Aufnahmen im Röntgen und im MRT zu verzeichnen waren. Es ist anzunehmen, dass solche Abweichungen durch die Umlagerung und durch eine unterschiedliche Position während der Untersuchung (Röntgen im Stehen) zustande kamen. Im Vergleich zwischen Studienzweig A (Röntgen und CT) und B (Röntgen und MRT) wurde für das MRT nur eine relative Sensitivität von 0,53 und eine relative Spezifität von 0,70 errechnet.

Korrelationen zwischen Alignementauffälligkeiten und der Frakturklassifizierung nach Magerl et al. (Magerl et al. 1994) waren wenig ausgeprägt, normalerweise aber stärker im Studienzweig B (Röntgen und MRT) als im Studienzweig A (Röntgen und CT) vorhanden (Kapitel 6.2, Tabelle 7).

Bezüglich der Therapieoptionen zur Korrektur von Alignementfehlern wurden für die operative Behandlung bessere Ergebnisse als für die konservative Versorgung nachgewiesen (Gertzbein 1992, Reinhold et al. 2009 b). Innerhalb der chirurgischen Behandlungsmethoden waren die Unterschiede nicht so stark ausgeprägt. Bei der Therapie der posttraumatischen Kyphose zeigte die ventrale Stabilisierung gegenüber der dorsalen Instrumentierung in einigen Studien eine leichte Überlegenheit (Gertzbein 1992). In anderen Studien waren die

Verfahren gleich (Knop et al. 2000) oder die dorsale Ausrichtung mittels winkelstabiler Systeme noch erfolgreicher (Reinhold et al. 2009 b). Sehr gute postoperative Korrekturergebnisse erzielten kombiniert dorsoventrale Strategien (Knop et al. 2000, Reinhold et al. 2009 b). Die Rekyphosierungsrate in der Nachuntersuchung unterschied sich zwischen den einzelnen Therapieoptionen nicht wesentlich (Gertzbein 1992, Knop et al. 2001). Neuere Multicenterstudien zeigten eine signifikante Überlegenheit kombiniert dorsoventraler Verfahren beim morphologischen Spätergebnis verglichen mit dem präoperativen Befund (Knop et al. 2001, Reinhold et al. 2009 c). Entscheidend für den Langzeiterfolg wäre zudem, dass eine starke kyphotische Deformierung in der Nachuntersuchung für die betreffenden Patienten oft auch mit stärkeren chronischen Schmerzen verbunden sei (Gertzbein 1992). Dies sollte somit bei der diagnostischen Erkennung von Alignmentfehlern und der assoziierten Therapieplanung beachtet werden.

Abbildung 21

Beispiel eines Patienten mit Wirbelkörperödem BWK 5 bis 9, beurteilte Fraktur BWK 7 (←), CT im Vergleich



Unter den 100 eingeschlossenen Patienten wurden insgesamt 153 Frakturen nach Auswertung aller verfügbaren Informationen (Anamnese; klinische Untersuchung; Darstellungen im Röntgen, CT und MRT; Arzt- und Patientenbriefe; Dokumentation zur Operation und

Nachuntersuchung) eruiert. Mit dem Auftrag die für Diagnose, Therapieplanung und Prognose wichtigsten Frakturen eines präsentierten Falles zu bewerten, erfasste der Begutachter im Studienzweig A nach Betrachtung initialer Bilder von Röntgen und CT 124 Frakturen in typischer Höhenverteilung. Mit derselben Aufgabe wurden im Studienzweig B nach Einsicht der initialen Röntgen- und MRT-Darstellungen der gleichen Patienten 111 Wirbelverletzungen bewertet. Auch hier fand sich eine typische Höhenverteilung, welche in Kapitel 6.3 – Abbildung 13 und im Folgenden in Tabelle 21 der Verteilung aus dem anderen Studienzweig gegenübergestellt wurde.

Insgesamt wurden weniger Frakturen nach Betrachtung von Röntgen und MRT beurteilt. Allerdings notierte der Auswerter im Zuge der Evaluation eines Wirbelkörperödems nach Oner et al. (CORx) noch 55 weitere Wirbel mit dieser traumaassoziierten Veränderung. Ein solches Wirbelkörperödem, dessen Korrelat in der bildgebenden Diagnostik häufig auch als „bone bruise“ (englisch für Knochenprellung) bezeichnet wird, trat somit zusätzlich zur beurteilten Fraktur in 37 % der Fälle auf (Tabelle 21; Beispiel in Abbildung 21). 12 jener Wirbel mit „bone bruise“ wurden im Studienzweig A (Röntgen und CT) als frakturiert bezeichnet, darunter fanden sich 7 Impaktions- (Magerl-Gruppe A1), 2 Spalt- (Magerl-Gruppe A2) und 3 Berstungsbrüche (Magerl-Gruppe A3). Verbleibende 43 mit CORx bewerteten Wirbel, darunter 33 Mehrsegment- und 10 Mehretagenverletzungen, wurden im Studienzweig A nicht benannt.

Tabelle 21		Höhenverteilung der beurteilten Frakturen bzw. der Wirbelkörperödeme („bone bruise“)																		
Studienzweig	Beurteilt	Anzahl pro Wirbelkörperhöhe																		
		BWK1	BWK2	BWK3	BWK4	BWK5	BWK6	BWK7	BWK8	BWK9	BWK10	BWK11	BWK12	LWK1	LWK2	LWK3	LWK4	LWK5	Summe	
A = Röntgen und CT	Frakturen	0	0	0	8	5	9	6	7	3	3	7	19	26	19	8	4	0	124	
B = Röntgen und MRT	Frakturen	0	0	1	4	5	9	5	3	3	1	9	15	26	20	6	4	0	111	
	"Bone bruise"	0	1	1	2	5	4	3	5	2	3	1	7	6	4	7	3	1	55	

Obwohl die Aufgabenstellung definitive Rückschlüsse in dieser Richtung erschwerte, fanden sich darin Hinweise, dass es einerseits im MRT dezente Frakturlinien im Wirbelkörper schlechter definiert werden konnten, da besonders die Darstellung der Kortikalis nicht eindeutig war (Flanders et al. 1990, Mirvis et al. 1988). Andererseits kann ein dargestelltes „bone bruise“ ein Hinweis auf eine frische Verletzung und speziell auf eine feine Kompressionsfraktur sein (Flanders et al. 1990).

Die Fähigkeit des MRT ein solches „bone bruise“ nachzuweisen, wurde zuerst an anderen Regionen des Körpers, hauptsächlich am Knie, untersucht (Crotty et al. 1996, Hayes et al. 1993, Lynch et al. 1989, Miller et al. 1998, Mink und Deutsch 1989, Pinar et al. 1997, Sanders et al. 2000, Wright et al. 2000). Als anatomisches Korrelat dieser radiologischen

Besonderheit konnte eine Kombination aus trabekulärer Mikrofraktur, Ödem und Einblutung definiert werden (Miller et al. 1998, Rangger et al. 1998, Vogler und Murphy 1988). Bei Wirbelsäulenfrakturen sei es die „häufigste Begleitverletzung“ in bis zu 57 % der Fälle (Green und Saifuddin 2004) und resultiere aus axialer Kompression auf die Wirbelkörper (Flanders et al. 1990, Kulkarni et al. 1987, Qaiyum et al. 2001). Die magnetresonanztomographische Darstellung zeigt eine Intensitätsverringung in der T1- und eine Intensitätserhöhung in der T2-Wichtung (Flanders et al. 1990, Hayes et al. 1993, Mink und Deutsch 1989, Sanders et al. 2000). Ein „bone bruise“ war zudem in STIR-Sequenzen (short Tau inversion recovery) besonders gut abgrenzbar (Schueller-Weidekamm et al. 2006, Vincken et al. 2006).

Die klinische Bedeutung dieses Phänomens ist allerdings noch nicht gesichert. Einige Studien widersprachen einer Auswirkung auf eine progressive Deformität (Green und Saifuddin 2004, Scheunemann et al. 2005 [bei Kindern], Teli et al. 2005). Auch auf eine Instrumentierung in diesen Wirbeln habe es keinen Einfluss (Teli et al. 2005). Am Knie sei das „bone bruise“ eine Erklärungsmöglichkeit für das Auftreten von belastungsabhängigen Schmerzen ohne sonstige Verletzungshinweise (Lynch et al. 1989, Wright et al. 2000). Dabei waren magnetresonanztomographische Zeichen in der Untersuchung 2 bis 4 bzw. 2 bis 57 Monaten nach dem Trauma und konservativer Therapie nicht mehr vorhanden (Miller et al. 1998 bzw. Scheunemann et al. 2005 [bei Kindern]). Generell hatte das „bone bruise“ ohne Begleitverletzungen eine gute Prognose (Vincken et al. 2006, Wright et al. 2000). Eine schmerzadaptierte Entlastung wurde empfohlen (Lynch et al. 1989, Miller et al. 1998). Jedoch sei eine klare Abgrenzung der traumatischen Genese, aus welcher das „bone bruise“ normalerweise resultiere, von anderen Pathomechanismen wie dem reaktiven, ischämischen und metabolischen Knochenmarksödem wichtig. Nichttraumatische Ursachen wären röntgenologisch nachvollziehbar und würden andere Therapien und Prognosen nach sich ziehen (Hayes et al. 1993, Walther und Stäbler 2006).

Auch Unterbrechungen in der Kortikalis des Wirbelkörpers stellt das MRT dar. Es wurde jedoch beschrieben, dass die diesbezügliche Beurteilung besonders in der HWS nicht sicher sei (Mirvis et al. 1988, Flanders et al. 1990). In der vorgelegten Studie beurteilten die Begutachter die Vorder-, Hinter- und Seitenkanten, sowie die seitlichen Konturen des Wirbelkörpers in beiden Studienzweigen. Deck- und Grundplatten wurden nach dem Schema nach Oner et al. allein im MRT eingestuft.

Die magnetresonanztomographische Darstellung der Deckplatten frakturierter Wirbel zeigte in allen drei Magerl-Typen meist eine Diskontinuität der hypointensen Deckplattenlinie allein in der vorderen Hälfte (Typ A mit 64,6 %; Typ B mit 50,0 % und Typ C mit 100,0 %). In Beziehung zum Frakturtyp bzw. zur Frakturgruppe war der Anteil der Frakturen mit Diskontinuitäten in der Deckplatte besonders hoch bei Rotationsbrüchen (Typ A mit 76,1 %; Typ B mit 75,0 % und Typ C mit 100,0 %) und in der Gruppe der Spaltbrüche, gefolgt von den Berstungsbrüchen (Gruppe A2 mit 100 %; Gruppe A3 mit 91,4 %; Gruppe A1 mit 63,7 %). In der Beurteilung der Grundplatten zeigte sich ein nachvollziehbares Verletzungsmaximum beim Typ der Distraktionsverletzungen und in der Gruppe der Spaltbrüche.

Zum direkten Vergleich der Darstellung der Wirbelkörperkortikalis von Röntgen und MRT gegenüber Röntgen und CT wurden die die Vorder-, Hinter- und Seitenkanten, sowie die seitlichen Konturen des Wirbelkörpers in beiden Studienzweigen beurteilt.

Für die Beschreibung von Seitenfragmenten ergaben sich eine relative Sensitivität von 0,55 und eine relative Spezifität von 0,77 des MRTs gegenüber dem CT bei einer niedrigen Prävalenz (11 % nach Studienzweig A).

Bei 47 der verglichenen Frakturen wurde ein Hinterkantenfragment in Röntgen und CT eruiert. Im Röntgen und MRT wurde das gleiche Fragment nur bei 31 Wirbelbrüchen beschrieben. In den verbleibenden 16 Fällen stellte das MRT eine abgesprengte Hinterkante nicht ausreichend dar. Dagegen wurde ein solches Fragment im Studienzweig B (Röntgen und MRT) 6-mal festgestellt, konnte aber im Studienzweig A (Röntgen und CT) nicht belegt werden. Entsprechend ergab die relative Sensitivität 0,88 und die relative Spezifität 0,66 für die Detektion von Hinterkantenfragmenten. Wesentlich schlechter war die diagnostische Sicherheit für die Beschreibung der Position dieser Fragmente.

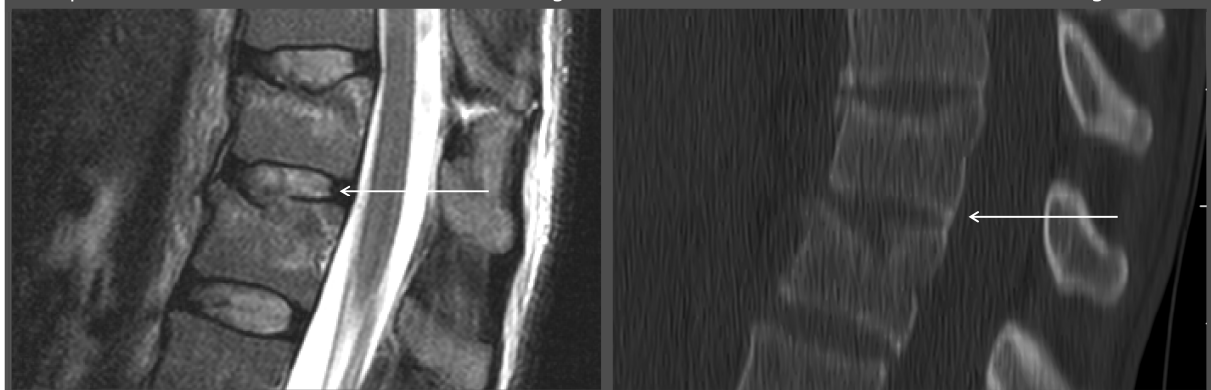
Probleme in der Darstellung eines möglichen Hinterkantenfragmentes sind deshalb von großer Bedeutung, da eine resultierende akute oder progrediente Kompression des Rückenmarks zu neurologischen Ausfällen führen kann (Atlas et al. 1986, Gertzbein 1992, Magerl et al. 1994). Eine sukzessive operative Dekompression wäre indiziert und erfolgversprechend (Gertzbein 1992, Wolter et al. 2001). Das MRT könne im diagnostischen Prozess jedoch zur Darstellung des komprimierten Durasackes bzw. des Rückenmarks dienen und somit diesbezüglich genügend Informationen zur Therapieentscheidung bieten (McArdle et al. 1986). Eine genaue Bestimmung der Position des Hinterkantenfragmentes wäre dennoch hilfreich, da rotierte Fragmente schwerer zu reponieren seien (Guerra et al. 1984).

Die dorsalen Anteile des Wirbelkörpers waren im Studienzweig B (Röntgen und MRT) generell schwer zu beurteilen. Bei einer niedrigen Prävalenz in beiden Studienzweigen fielen vermehrt falsch-positive Werte in Röntgen und MRT bei der Beurteilung der Laminae (8 falsch-positive Frakturen im Vergleich zu Studienzweig A [Röntgen und CT]), der Quer- (9 falsch-positive Frakturen) und Gelenkfortsätze (13-mal asymmetrische Darstellungen oder Frakturen) auf. Zudem wurden computertomographisch dargestellte Frakturen der Lamina (8-mal) und Querfortsätze (6-mal), sowie Subluxationen der kleinen Wirbelgelenke (5-mal) im Studienzweig B (Röntgen und MRT) nicht gesehen. Andere Autoren haben solche Schwierigkeiten bei der magnetresonanztomographischen Begutachtung von Wirbelfrakturen besonders im Bereich der HWS beschrieben (Beers et al. 1988, Flanders et al. 1990, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988), aber auch für den thorakolumbalen Abschnitt dokumentiert (Kliwer et al. 1993). Allerdings wurde festgestellt, dass auch in der Begutachtung der dorsalen Wirbelkörperelemente mittels Multislice-CT Unsicherheiten bestehen. Diese hätten aber insgesamt wenig Einfluss auf das Management von Wirbelsäulen (Wintermark et al. 2003).

Eine weitere wichtige Differenz in der Beschreibung der Elemente des Wirbelbogens fand sich bei der Einschätzung der Bogenwurzeln. Auch hier erschien die Bildgebung im MRT häufiger auffällig als im CT. 18 senkrechte Abstandsverminderungen (neben einer richtig positiven), 19 quere Frakturen (2 richtig positive) und 29 asymmetrische Darstellungen (3 richtig positive) wurden ausschließlich im Studienzweig B (Röntgen und MRT) und nicht im Studienzweig A (Röntgen und CT) festgestellt. Eine genaue Beurteilung der Bogenwurzeln ist jedoch wichtig, da darüber häufig eine instrumentelle Stabilisierung mittels Fixateur interne erfolgt.

**Abbildung 22**

Beispiel eines Patienten mit Bandscheibenverletzung zwischen BWK 12 und LWK 1 (←), CT im Vergleich



Im Zuge der traumatischen Verletzung von Wirbelkörpern treten oft auch Bandscheibenschäden auf (Mirvis et al. 1988, Oner et al 1999 a; Beispiel in Abbildung 22). Einer biomechanischen Studie zufolge seien die Bandscheiben mit einem Anteil von mehr als 60 % Ursache der akuten posttraumatischen Hypermobilität (Lin et al. 1993) und hätten auch großen Einfluss auf eine chronische Instabilität (Lu et al. 1996).

In der dargebotenen Promotionsstudie eruierte der Auswerter nach Sichtung der MRT-Darstellungen 78-mal kranial und 27-mal kaudal des am schwersten gebrochenen Wirbels Verletzungen dieser Struktur. In 10 Fällen war dabei die gesamte Bandscheibe betroffen (nach Oner et al. 1999 b: 8-mal DI CR-Status 4, zweimal DI CA-Status 4). 11 Bandscheiben waren ausschließlich im dorsalen Abschnitt verletzt (4-mal DI CR-Status 3, 7-mal DI CA-Status 3), die verbleibenden 84 Bandscheibenschäden fanden sich ventral (66-mal DI CR-Status 2, 18-mal DI CA-Status 2). Nach Auswertung der Frakturmerkmale bezüglich spezifischer Wirbelsäulenstrukturen im Studienzweig A (Röntgen und CT) wurde vom Auswerter in keinem Fall eine verminderte Höhe des Intervertebralraumes festgestellt. Weitere Charakteristiken des Bereichs zwischen den Wirbelkörpern wurden nach Betrachtung von Röntgen und CT nicht beurteilt, da bereits aus vorausgehenden Studien zu ersehen war, dass eine direkte Beurteilung der Bandscheibe nur schwer möglich ist (Flanders et al. 1990, Klierer et al. 1993, McArdle et al 1986, Mirvis et al. 1988).

Es konnte gezeigt werden, dass die Verletzung der Bandscheibe signifikant häufiger kranial des gebrochenen Wirbels auftritt und dass Verletzungen der Bandscheibe oberhalb dieses Wirbels signifikant schwerer sind, wie auch von Oner et al. belegt wurde (Oner et al. 1998 a, Oner et al. 1999 b). Eine andere Untersuchung wies jedoch nach, dass eine frakturassoziierte Bandscheibenverletzung im zervikalen Bereich vermehrt kaudal auftritt (Flanders et al. 1990). Während das Ausmaß der Bandscheibenverletzung leicht mit der klassifizierten Magerl-Gruppe korrelierte, konnte zum Magerl-Typ kein Zusammenhang belegt werden. Eine klare Korrelation der dargestellten Deck- bzw. Grundplattenverletzung mit dem Status der angrenzenden Bandscheibe wurde ebenfalls nicht nachgewiesen. Auch Oner et al. widerlegten die Hypothese, dass eine Deck- bzw. Grundplattenfraktur alleine im klaren Zusammenhang mit einer Degeneration der angrenzenden Bandscheibe stand (Oner et al. 1998 a).

Wie bereits ausgeführt hat das CT im Vergleich zum MRT klare Vorteile in der Darstellung der Wirbelkörperkortikalis (Mirvis et al. 1988, Flanders et al. 1990). Nach Betrachtung dieser Ergebnisse kann jedoch geschlussfolgert werden, dass aus der Darstellung der angrenzenden Strukturen kein indirekter Rückschluss auf eine Bandscheibenverletzung zu ziehen ist. Nur im MRT ist es möglich eine Verletzung der Bandscheibe direkt und mit einer guten Sensitivität

und Spezifität zu beurteilen (Beers et al. 1988, Edelman et al. 1985, Flanders et al. 1990, Grenier et al. 1989, Gumpfenberg et al. 1991, Kerslake et al. 1991, Klierer et al. 1993, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988, Oner et al. 1999 a, Saifuddin 2001, Saint-Louis 2001). Ausschlaggebend für die Bandscheibenbeurteilung sind die Signalintensität, vor allem in der T2-Wichtung, und die Einschätzung morphologischer Veränderungen (Fürderer et al. 2001, Oner et al. 1999 a, Pfirrmann et al. 2001). Nach einer Wirbelsäulenverletzung könnten durch die Begutachtung der Zwischenwirbelscheibe, besonders über das zweitgenannte Merkmal, Rückschlüsse auf zukünftige Veränderungen dieser Struktur und eine resultierende Kyphosierung gezogen werden (Fürderer et al. 2001, Oner et al. 1998). Zudem sei es möglich verschiedene Verletzungstypen der Bandscheibe zu differenzieren, welche nach konservativer Behandlung unterschiedliche Risiken für eine progrediente kyphotische Deformität hätten. Andererseits habe auch der posttherapeutische Zustand der Deck- bzw. Grundplatte des gebrochenen Wirbels einen wichtigen Einfluss auf einen Korrekturverlust. Ein Repositionseffekt wirke sich häufig nur auf die äußeren Wirbelkörperanteile aus. Somit seien chronische Deformitäten möglich, die aus einer „Einpressung“ der Bandscheibe in einen zentralen Frakturspalt resultierten (Oner et al. 1998). Verschiedene Autoren belegten, dass eine posttraumatische Verschmälerung des Bandscheibenraumes einen progredienten und oft schmerzenden kyphotischen Korrekturverlust zur Folge haben kann, der selbst nach dorsaler Stabilisierung auftritt (Akbarnia et al. 1994, Benson et al. 1992, Lindsey und Dick 1991, Speth et al. 1995).

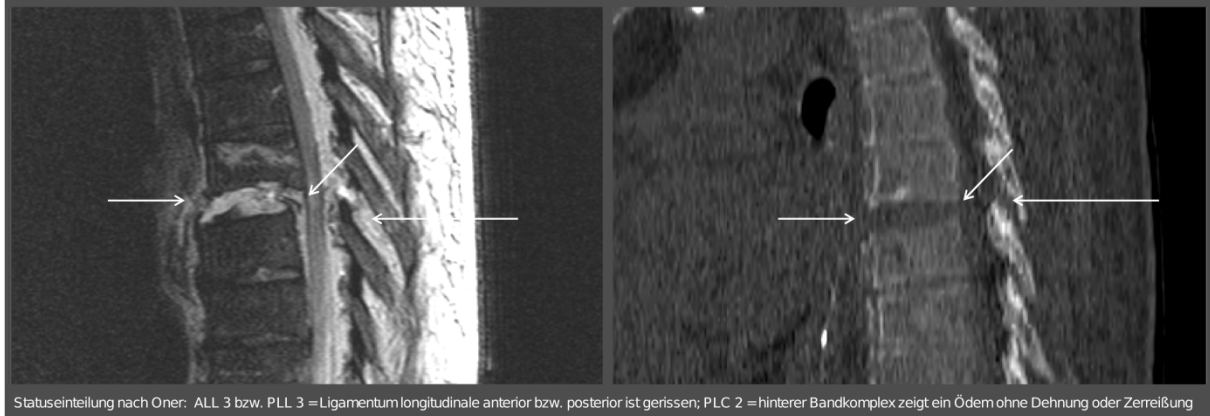
Somit offeriert das MRT wichtige Indizien für oder gegen die Indikation einer anterioren Dekompression und operativen Fusion des Bandscheibenraumes (Fürderer et al. 2001, Gumpfenberg et al. 1991, Mirvis et al. 1988, Oner et al. 1998).

Zudem könnten magnetresonanztomographische Darstellungen zur Diagnose und Evaluierung degenerativer Veränderungen der Bandscheiben genutzt werden (Auerbach et al. 2006, Boden et al. 1990, Mariconda et al. 2007, Modic et al. 1984, Pfirrmann et al. 2001), welche häufig im Rahmen des chronischen „low back pain“ auftraten (Mariconda et al. 2007). Dabei sei eine Zone hoher Intensität in der T2-Wichtung, die den äußeren Bandscheibenanteil betrifft, häufig ein Hinweis auf einen schmerzhaften Einriss im Anulus fibrosus (Aprill und Bogduk 1992, Peng et al. 2006, Schellhas et al. 1996). Eine Tierstudie zeigte, dass solch ein Riss häufig eine Austrocknung und biochemische Veränderungen der traumatisierten Bandscheibe im Sinne einer Degeneration hervorrufen kann (Osti et al. 1990). Außerdem korreliere eine besondere T1 $\rho$ -Wichtung neben der T2-Wichtung besonders gut mit dem Proteoglykangehalt der Bandscheiben (Auerbach et al. 2006, Johannessen et al. 2006).



### Abbildung 23

Beispiel eines Patienten mit Bandverletzungen: ALL 3, PLL 3 und PLC 2 zwischen BWK 6 und BWK 7 ( ← ), CT im Vergleich



Die Bandstrukturen der Wirbelsäule können mittels MRT dargestellt werden (Flanders et al. 1990, Ho et al. 1988, Kerslake et al. 1991, Kliewer et al. 1993, Kulkarni et al. 1987, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988, Petersilge et al. 1995, Tehranzadeh et al. 1992, Terk et al. 1997), während dies in anderen bildgebenden Modalitäten weniger sicher möglich ist (Goldberg et al. 1989, Mirvis et al. 1988, Petersilge et al. 1995; Beispiel in Abbildung 23).

In der magnetresonanztomographischen Abbildung stellen die Bänder in den häufigsten Wichtungen (T1 und T2) hypointense Strukturen dar (Grenier et al. 1989, Ho et al. 1988, Kliewer et al. 1993, Petersilge et al. 1995, Tehranzadeh et al. 1992). Hyperintensitäten in diesen Strukturen in der T2-Wichtung können Ödeme oder Hämatome reflektieren (Beers et al. 1988, Petersilge et al. 1995).

Auch traumaassoziierte Zerreißungen des Ligamentum longitudinale anterior und Ligamentum longitudinale posterius können verifiziert bzw. ausgeschlossen werden (Grenier et al. 1989, Kliewer et al. 1993, Mirvis et al. 1988, Oner et al. 1999 b, Petersilge et al. 1995). Postraumatische Veränderungen im PLC sind ebenfalls zu beurteilen (Emery et al. 1989, Kliewer et al. 1993, Lee et al. 2000, Terk et al. 1997).

Vergleiche der magnetresonanztomographischen Darstellung mit intraoperativen Befunden bei Bandscheibenvorfällen zeigten, dass eine Abwesenheit des PLL über dem prolabierten Bandscheibenanteil im MRT mit hoher Spezifität und noch besserer Sensitivität auf eine Zerreißung dieses Bandes hinweist (Grenier et al. 1989).

Oner et al. stellten nach der Untersuchung von 100 Frakturen fest, dass das MRT eine große Varianz von Bandverletzungen darstellen und unterscheiden kann, welche in bisherigen Frakturklassifikationen noch nicht erfasst waren. Sie empfahlen eine neue schematische Einteilung dieser Befunde, die auch in dieser Studie angewandt wurde (Oner et al. 1999 b).

Am Ligamentum flavum wurde mittels Korrelation von Kadaverresektionen gezeigt, dass Inhomogenitäten und Verformungen dieser Struktur auf degenerative Veränderungen hinweisen. Assoziierte Fetteinlagerungen oder Kalzifikationen des Bandes konnten jedoch nur zum Teil im MRT dargestellt werden (Ho et al. 1988).

In der vorliegenden Studie wurde bei 81,1 % der Frakturen das ALL als gedehnt oder gerissen eingestuft (33,3 % Status 2 bzw. 47,8 % Status 3 nach Oner et al.). Das PLL erschien in 51,3 % gedehnt oder gerissen (25,2 % Status 2 bzw. 26,1 % Status 3). Der posteriore ligamentäre Komplex (PLC) war in 79,3 % der Fälle nicht betroffen. Unter den verbleibenden 20,7 % wurde bei 12,6 % der Frakturen allein ein Ödem im Bandbereich gefunden. Ein zusätzliches Auseinanderweichen der angrenzenden Prozessii spinosi fand man in 5,4 % und eine Zerreißung des Bandkomplexes nur in 2,7 % der Fälle. Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang der Oner-Status aller bewerteten ligamentären Strukturen zur Klassifizierung der betreffenden Struktur nach der Magerl et al. belegt werden (Kapitel 6.2. Tabelle 12).

Zudem fand sich eine signifikante Korrelation der PLL-Verletzung (Oner-Status) mit dem Auftreten eines Hinterkantenfragmentes im MRT (Spearman's Rho = 0,52 für Studienarm B bzw. Spearman's Rho = 0,43 für Studienarm A bei  $p \leq 0,01$ ). Dieser Zusammenhang wurde auch von anderen Autoren belegt (Saifuddin et al. 1996). Eine Dehnung des PLL kann aber auch durch einen Bandscheibenvorfall (Flanders et al. 1990, Grenier et al. 1989) oder Blutungen (Petersilge et al. 1995) verursacht sein.

Bei einer Verletzung des PLC (Oner-Status) wurde auch häufiger ein vertikales Auseinanderweichen der Dornfortsätze (Spearman's Rho = 0,74 bei  $p \leq 0,01$ ) und Bogenwurzeln (Spearman's Rho = 0,35 bei  $p \leq 0,01$ ) im MRT beschrieben. Dabei ist allerdings zu beachten, dass auch in die Definition der PLC-Status nach Oner et al. eine solche Abstandsvergrößerung zum Teil einfließt und dass die Beurteilungen der zuletzt genannten Zusammenhänge in einer Sitzung von einem Bewerter notiert wurden. Eine geringere Korrelation für das PLL und den PLC bezüglich des oben genannten Frakturmerkmale zeigte sich in Studienarm A (Röntgen und CT). Nur der Zusammenhang des PLL-Status mit dem Auftreten eines Hinterkantenfragmentes im Studienarm A (Röntgen und CT) ergab einen höheren und signifikanten Korrelationskoeffizienten (Spearman's Rho = 0,43 bei  $p \leq 0,01$ ).

Auch beim Zusammenhang zwischen den Bandverletzungen nach Oner et al. und der Fraktureinteilung nach Magerl et al. fiel auf, dass der Koeffizient bei der Klassifizierung nach den Bilddaten im Studienarm A (Röntgen und CT) generell niedriger war als nach Sichtung von

Röntgen und MRT im Studienzweig B. Dies lässt sich z. T. dadurch erklären, dass die Beurteilungen, worauf sich die zuletzt genannten Zusammenhänge gründen, beim Studienzweig B (Röntgen und MRT) in einer Sitzung von einem Begutachter dokumentiert wurden. Andererseits kann die stärkere Korrelation nach Sichtung des MRTs auch auf eine bessere Darstellung klassifikationsrelevanter Strukturen hinweisen. So war beispielsweise ein besonders hoher Rangkorrelationskoeffizient im Zusammenhang zwischen dem Oner-Status des PLC und dem Magerl-Typ im Studienzweig B auffällig (Spearman's Rho = 0,74;  $p \leq 0,01$ ), welcher einem deutlich geringeren Koeffizienten beim Magerl-Typ des Studienzweigs A gegenüberstand (Spearman's Rho = 0,47;  $p \leq 0,01$ ).

Schon Magerl et al. beschrieben in ihrer auf dem CT basierenden Studie zur Klassifikation Schwierigkeiten in der Unterscheidung zwischen Typ-A- und Nicht-Typ-A-Frakturen (Magerl et al. 1994). Die Probleme der Einschätzung dieser sogenannten Distraktionskomponente wurden auch von Blauth et al. in ihrer Studie zur Reliabilitätsprüfung nach Einstufung von computertomographisch dargestellten Frakturen in die Magerl-Klassifikation und anderen Autoren benannt (Blauth et al. 1999, Leferink et al. 2002). Die Frakturbeurteilung mittels MRT hingegen kann Antworten zur ligamentären Situation der traumatisierten Wirbelsäule bieten, worauf die oben genannten Ergebnisse hinweisen. Dies wurde auch von anderen Autoren unterstrichen (Blauth et al. 1999, Grenier et al. 1989, Kliwer et al. 1993, Mirvis et al. 1988, Oner et al. 1999 b, Petersilge et al. 1995, Terk et al. 1997). Daraus resultierend kann der erwähnte Zusammenhang zwischen dem Oner-Status des ALL, des PLL und des PLC und dem Magerl-Typ auch auf eine klassifikationsrelevantere Darstellung im MRT hinweisen. Eine bessere Einschätzung der posttraumatischen Instabilität der Ligamenta kann eine optimale Therapieplanung ermöglichen, was in den letzten Jahrzehnten immer mehr betont wurde (Allen et al. 1982, Dickson et al. 1978, Kliwer et al. 1993, McArdle et al. 1986, Whitesides 1977). Chronische Deformierungen, wie z.B. eine Kyphosierung nach Zerreißung des PLC (Malcolm et al. 1981), könnten somit verhindert werden.

Neben einer besseren Stabilisierung ist die Beurteilung der Integrität des PLL im Zusammenhang mit einem Hinterkantenfragment sehr wichtig. Denn nur bei intaktem PLL sei eine Distraktionsdekompression des Rückenmarkkanals im Sinne einer Ligamentotaxis möglich (Brightman et al. 1992, Harrington et al. 1993, Wolter et al. 2001). Zudem wäre die Beurteilung des PLL für die Therapie eines traumaassoziierten Bandscheibenvorfalles wichtig (Grenier et al. 1989).

Es wurde gezeigt, dass Rückenmarksbeeinträchtigungen anhand von Darstellungen eines Ödems (hyperintens im T2) oder einer intraspinalen Blutung (hypointens im T2 eventuell mit hyperintensem Saum) im MRT sehr gut eruiert werden können (Beers et al. 1988, Chakeres et al. 1987, Flanders et al. 1990, Kulkarni et al. 1987, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988). Darstellungen dieser Art konnten auch bei unauffälligem CT-Befund eine neurale Verletzung erklären (Hochmuth et al. 2002). Dabei sei die Unterscheidung zwischen Ödem und Blutung in diesem Bereich wichtig, da ein Zusammenhang mit dem Ausmaß des neurologischen Defizits bestünde und sich beträchtliche prognostische Unterschiede ergäben (Kulkarni et al. 1987). Dennoch ist der diesbezügliche Wert des initialen MRT nicht gesichert, da der Effekt einer frühen Dekomprimierung auf die neurologischen Symptome des Patienten noch umstritten ist (Fehlings und Perrin 2005).

Desweiteren wird die Rolle des neurologischen Status des Patienten mit einer Wirbelsäulenfraktur als Therapieindikation grundlegend diskutiert. Angaben in der Literatur zum Anteil von Personen mit neurologischen Ausfällen variieren von 10 bis 45 % in diesem Kollektiv (Bühren 2003, Gertzbein 1992, Hu et al. 1996, Knop et al. 1999, Magerl et al. 1994, Reinhold et al. 2009 a, Schwerdtfeger et al. 2004). Während in einigen Schriften eine klare Beziehung zwischen dem Grad der Einengung des Spinalkanals und der Wahrscheinlichkeit neurologischer Ausfälle bescheinigt wurde (Bradford und McBride 1987, Fontijne et al. 1992, Gertzbein et al. 1992, Hashimoto et al. 1988, Knop et al. 2000, Reinhold et al. 2009 b), kamen andere Autoren allerdings zu dem Schluss, dass kein eindeutiger Zusammenhang bestand (Atlas et al. 1986, Dall und Stauffer 1988, Denis 1983, Eberl et al. 2003, Flanders et al. 1990, Gertzbein 1992). Es gäbe Hinweise, dass ein Rückenmarksschaden durch eine kurzzeitige maximale Einengung des Rückenmarkkanals im Augenblick des Unfalls hervorgerufen werde, welche durch die automatische Reposition aufgrund elastischer Anteile im Wirbelsäulenkonstrukt in posttraumatischen Diagnostiken nicht mehr nachweisbar sei (Dickson et al. 1978, Eberl et al. 2003, Gertzbein 1992).

Noch besteht Unklarheit darüber, ob es hilfreich ist, eine möglichst frühe Dekomprimierung anzustreben oder ob die Wahl des operativen Zugangs ausschlaggebend für die postoperative Neurologie ist. Experimentell (Dimar et al. 1999) und auch klinisch (Bohlman und Anderson 1992, Fehlings und Perrin 2006) wurde belegt, dass besonders Patienten mit einer inkompletten neurologischen Querschnittsläsion von einer zeitnahen Entlastung der neurovaskulären Strukturen profitieren. Andererseits widersprachen Autoren der These einer hilfreichen frühen Dekomprimierung (Dickson et al. 1978, McKinley 2004). Differenzierteren Meinungen nach könne eine operative Entlastung nicht den Rückenmarksschaden verhindern,

welcher durch die oben erwähnte kurzzeitige Maximaleinengung zum Zeitpunkt des Unfalls entstanden sei. Jedoch wäre ein operativer Eingriff bei einem persistierenden neurologischen Defizit durch ein disloziertes Hinterkantenfragment oder ein Hämatom sinnvoll (Gertzbein 1992). Während einerseits bessere Resultate für eine Art der chirurgischen Dekomprimierung festgestellt wurden (ventrale Dekomprimierung: Bradford und McBride 1987, Esses et al. 1990, Gertzbein 1992), konnte in anderen Studien kein Unterschied zwischen einzelnen Behandlungsmethoden nachgewiesen werden (Knop et al. 2001, Reinhold et al. 2009 c). Allgemein wurde jedoch eine Dekompression bei neurologischen Ausfällen mit entsprechendem morphologischem Korrelat empfohlen (Bradford und Mc Bride 1987, Dickson et al. 1978, Knop et al. 2000, Olerud et al. 1988, Shiba et al. 1994). Patienten, die sich posttraumatisch neurologisch verschlechterten, hatten bessere Ergebnisse durch eine operative Therapie (Gertzbein 1992).

In dieser Promotionsstudie fand sich unter den 100 untersuchten Patienten in 7 % eine inkomplette und in 2 % eine komplette Querschnittssymptomatik. In beiden Studienzweigen konnte eine leichte Korrelation zwischen der Klassifizierung nach Magerl et al. und dem Grad der neurologischen Ausfälle festgestellt werden. So ergab der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman 0,37 ( $p \leq 0,01$ ) in Studienzweig A (Röntgen und CT) und 0,38 ( $p \leq 0,01$ ) in Studienzweig B (Röntgen und MRT) bezüglich des Frakturtyps. Hinsichtlich der Frakturgruppe wurde ein Wert von 0,23 ( $p \leq 0,05$ ) für Röntgen und CT bzw. von 0,30 ( $p \leq 0,01$ ) für Röntgen und MRT errechnet. Dieser Zusammenhang konnte sowohl von den Entwicklern der Frakturklassifikation (Magerl et al. 1994) als auch anderen Autoren nachvollzogen werden (Knop et al. 1999). Es gibt allerdings auch Studien, deren Ergebnisse dieser Korrelation widersprachen (Eberl et al. 2003).

Beachtlich in der vorgelegten Studie war, dass bei 71,4 % aller Patienten mit einer inkompletten und bei 50 % der Patienten mit einer kompletten Querschnittssymptomatik ein epidurales Hämatom im MRT festgestellt wurde, ohne dass der betreffende Begutachter von der traumaassoziierten Klinik wusste. Bei der verbleibenden Person mit einem kompletten Querschnitt, jedoch ohne Begleithämatom, zeigte sich in beiden Studienzweigen ein disloziertes Hinterkantenfragment.

Insgesamt fand sich bei 22 Patienten mit 26 Wirbelbrüchen eine Blutung im MRT. In 17 Fällen (70,8 % aller Hämatome) mit insgesamt 19 beurteilten Frakturen wurde ein epidurales Hämatom und in 5 Fällen (20,8 % aller Hämatome) mit insgesamt 6 Frakturen ein prävertebrales Hämatom eruiert. In einem Fall stellten sich sowohl eine prävertebrale als auch eine epidurale Blutung dar. Bei einem Patienten wurde ein Hämatom prävertebral und ein weiteres „anderer Lokalisation“ notiert. Blutungen in „anderer Lokalisation“ fanden sich in insgesamt 2 Fällen.

Dabei schienen Frakturen, welche bezüglich der Magerl-Typen höher eingestuft wurden, häufiger ein Hämatom aufzuweisen. Distraktionsfrakturen zeigten den höchsten Anteil an Epiduralhämatomen. Innerhalb der häufigsten Magerl-Gruppen waren epidurale Blutungen eher bei Berstungsbrüchen als bei Impaktions- oder Spaltbrüchen vertreten. Auch neurologische Einschränkungen fanden sich eher bei Epiduralhämatomen. Allerdings wurde aufgrund der geringen Anzahl dieser Befunde auf eine statistische Korrelationsanalyse verzichtet.

Die Möglichkeit mittels MRT posttraumatische Blutungen innerhalb und außerhalb des Duralsackes nachzuweisen wurde immer wieder in Studien belegt (Beers et al. 1988, Bühnen 2003, Flanders et al. 1990, Goddard und Gholkar 2002, Josten und Katscher 2003, Kerslake et al. 1991, La Rosa et al 1999, McArdle et al. 1986, Pan et al. 1988, Saifuddin et al. 1996). Anerkannt ist auch, dass andere bildgebende Modalitäten wie das CT dem MRT diesbezüglich nicht ebenbürtig sind (Flanders et al. 1990, Goddard und Gholkar 2002).

Die Auswertung der Charakteristiken aller Frakturen zielte in beiden Zweigen der vorgelegten Studie auf eine Einordnung der Verletzung nach der Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994) ab. Sowohl nach Meinung der Entwickler als auch gemäß anderen Autoren konnte eine Relevanz dieser Einteilung bezüglich mechanischer und neurologischer Instabilität der Fraktur, sowie sukzessiver Therapiestrategien und Prognose belegt werden (Magerl et al. 1994, Knop et al. 1999). Die Begutachter dieser Promotionsstudie hatten die Klassifikation schon vor Studienbeginn im Rahmen der diagnostischen Routine der Klinik für Neurochirurgie in Jena regelmäßig angewandt.

Die Übereinstimmung der Klassifizierung nach Magerl zwischen Studienzweig A (Röntgen und CT) und B (Röntgen und MRT) war bezüglich der Unterscheidung von A- und Nicht-A-Verletzungen, der Magerl-Typen, -Gruppen und -Subgruppen überdurchschnittlich und nahm

in dieser Reihenfolge schrittweise ab (A / nicht-A = 90,7 %; Typ = 89,7 %; Gruppe = 62,9 %; Subgruppe 1 [3-stellig] = 36,1 %; Subgruppe 2 [4-stellig] = 35,1 %).

Differenzen ergaben sich hinsichtlich der Klassifizierung in A- oder Nicht-A-Frakturen bzw. bezüglich der Magerl-Typen allein daraus, dass nach Begutachtung von Röntgen und MRT 9 bzw. 10 Frakturen höher eingestuft wurden. Anzunehmen ist, dass im MRT eine ligamentäre Beteiligung erkannt wurde, welche in den Darstellungen von Röntgen und CT nicht zu ersehen war. Der Wert des MRTs, eine solche Distraktionskomponente darzustellen, wurde bereits wissenschaftlich belegt (Kliwer et al. 1993, Petersilge et al. 1995, Terk et al. 1997) und hinsichtlich des Ausmaßes auf die Klassifizierung nach Magerl et al. unterstrichen (Blauth et al. 1999, Oner et al. 2002 a). Bei 7 Patienten erfolgte in dieser Promotionsstudie eine Änderung der Frakturklassifizierung in einen höheren Typ bei im MRT positiven Merkmalen einer ligamentären Affektion des PLC ohne indirekte Hinweise darauf in Röntgen und CT, sodass operative Maßnahmen allein daraus indiziert waren. Bei den restlichen Patienten kamen weitere Indikationen für eine chirurgische Intervention hinzu.

Differenzen bei der Unterscheidung in Frakturgruppen ergaben sich vermehrt bei den Spalt- und Berstungsbrüchen, wobei der größte Anteil an diskordanten Einstufungen in Röntgen und MRT einer niedrigeren Gruppierung verglichen zu Röntgen und CT entsprach. Hier werden die zuvor genannten Schlussfolgerungen unterstrichen, dass der Beurteiler im Studienzweig B (Röntgen und MRT) z. T. Schwierigkeiten hatte feine Frakturlinien im Wirbelkörper zu sehen, welche im Studienzweig A (Röntgen und CT) nachvollzogen werden konnten.

Trotz unterschiedlicher bildgebender Verfahren und Begutachter in beiden Untersuchungszweigen war die Interobserverreliabilität dieser Promotionsstudie den Werten vorausgehender Untersuchungen ebenbürtig, wie aus Tabelle 22 ersichtlich ist.

Tabelle 22 Reliabilität der Klassifizierung nach Magerl et al. (1994) im Vergleich zu anderen Studien												
Vorliegende Studie				Blauth et al. 1999			Oner et al. 2002 a					
Studienaufbau	Beurteilung von 97 Frakturen* (89 Patienten) in 2 Studienzweigen: - Studienzweig A: 1 Begutachter mit Röntgen und CT - Studienzweig B: 1 Begutachter mit Röntgen und MRT			Beurteilung von 14 Frakturen* (12 Patienten) in Röntgen und CT: an 22 Kliniken geschickt mit der Aufgabe der Klassifizierung nach Magerl et al. und Therapieempfehlung			Beurteilung von 60 Frakturen* (53 Patienten) in Röntgen, CT und MRT  in 2 Durchgängen: - Durchgang 1: 5 Begutachter mit Röntgen und CT - Durchgang 2: die selben 5 Begutachter mit Röntgen und MRT nach 6 Wochen					
Zeitraum	2002 bis 2006			1996 bis 1999			1994 bis 1997					
	Übereinstimmung			Übereinstimmung			Interobs.-Reliab. CT		Interobs.-Reliab. MRT		Intraobs.-Reliab. CT/MRT	
	[%]	Cohens Kappa	p-Wert	[%]	Cohens Kappa	p-Wert	Cohens Kappa Ø	min./max.	Cohens Kappa Ø	min./max.	Cohens Kappa Ø	min./max.
A / nicht-A	90,7	<b>0,49</b>	≤ 0,001	-	-	-	<b>0,34</b>	0,08 / 0,71	<b>0,42</b>	0,15 / 0,63	<b>0,45</b>	0,11 / 0,76
Typ	89,7	<b>0,44</b>	≤ 0,001	67	<b>0,33</b>	≤ 0,001	<b>0,35</b>	0,10 / 0,72	<b>0,39</b>	0,09 / 0,62	<b>0,41</b>	0,12 / 0,77
Gruppe**	62,9	<b>0,45</b>	≤ 0,001	56	<b>0,27</b>	≤ 0,001	<b>0,61</b>	0,47 / 0,86	<b>0,73</b>	0,58 / 0,81	<b>0,76</b>	0,61 / 0,91
Subgruppe 1 (3-stellig)**	36,1	<b>0,25</b>	≤ 0,001	46	<b>0,23</b>	≤ 0,001	<b>0,37</b>	0,18 / 0,51	<b>0,34</b>	0,21 / 0,52	<b>0,54</b>	0,33 / 0,88
Subgruppe 2 (4-stellig)	35,1	<b>0,25</b>	≤ 0,001	45	<b>0,21</b>	≤ 0,001	<b>0,31</b>	0,16 / 0,50	<b>0,28</b>	0,17 / 0,41	<b>0,47</b>	0,33 / 0,79

\* = Anzahl der Frakturen, die von allen Begutachtern beurteilt wurden; \*\* = bei Oner et al. 2002 a beziehen sich die Angaben für Gruppe und Subgruppe 1 nur auf den Typ A; Interobs.-Reliab. = Interobserververliabilität; Ø = durchschnittlicher Cohens Kappa; min./max. = minimaler bzw. maximaler Cohens Kappa unter allen Begutachtern

Die Übereinstimmung bei der Unterscheidung von Typ-A- und Nicht-Typ-A-Frakturen bzw. bei der Klassifizierung einzelner Frakturtypen war moderat (Landis und Koch 1977). In der Betrachtung der Magerl-Gruppen und Subgruppen 1 bzw. 2 ergab die Berechnung der Interobserverreliabilität ebenfalls moderate bzw. befriedigende Werte.

Zunehmende Schwierigkeiten traten bei der Klassifizierung in den Subgruppen auf, wie sie auch von Blauth et al. (1999) und Oner et al. (2002 a) beschrieben wurden. Anhand ihrer Ergebnisse unterstrichen Oner et al. die bereits wiederholt angesprochene Problematik der Hauptunterscheidung zwischen A- und Nicht-A-Frakturen in der Magerl-Klassifikation. Danach sei die Konkordanz der Beurteilungen auf Gruppenebene besser als auf Ebene der Verletzungstypen. Dieses Phänomen war in der vorgelegten Promotionsstudie nicht vollständig nachzuvollziehen, deutet sich aber an. Zur Verbesserung der Reliabilität wurde empfohlen die Kriterien zur Unterscheidung der Frakturtypen noch besser herauszustellen, Klassifikationsübungen durchzuführen und die Stärken der magnetresonanztomographischen Beurteilung ligamentärer Strukturen in die Klassifikation einzuarbeiten und auszunutzen (Blauth et al 1999, Oner et al. 2002 a).

## **7.2 Grenzen und Fehlerquellen des MRTs bei Wirbelsäulenverletzungen**

In der vorgelegten Promotionsstudie zeigte sich, dass bei der Begutachtung der Frakturen in MRT und Röntgen Unsicherheiten bei der Beurteilung der Wirbelkörperkortikalis und der dorsalen ossären Anteile der Wirbelsäule auftreten.

Feine knöcherne Elemente können im MRT noch nicht ausreichend dargestellt werden. Probleme bei der Einschätzung der Kortikalis wurden im HWS-Bereich beschrieben (Flanders et al. 1990, Mirvis et al. 1988). Die dorsalen ossären Anteile des Wirbelkörpers sind magnetresonanztomographisch oft nicht hinreichend zu beurteilen. Dies wurde ebenfalls durch Studien an der HWS belegt (Beers et al. 1988, Flanders et al. 1990, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988), aber auch für den thorakolumbalen Abschnitt beschrieben (Kliwer et al. 1993).

Besonders wichtig ist die Begutachtung eines auftretenden Hinterkantenfragmentes aufgrund drohender neurologischer Defizite. Hier wies die Einschätzung im Studienzweig B (Röntgen und MRT) eine relative Sensitivität von 0,88 und eine relative Spezifität von 0,66 auf. 16 Hinterkantenfragmente nach Studienzweig A (Röntgen und CT) wurden im MRT nicht ausreichend dargestellt.



Markante Differenzen fanden sich auch in der Beschreibung der Bogenwurzeln. Hier erschien das MRT häufiger auffällig. 18 senkrechte Abstandsvermindierungen (neben einem richtig positiven Befund im Vergleich zum CT), 19 quere Frakturen (2 richtig positive Befunde) und 29 asymmetrische Darstellungen (3 richtig positive Befunde) wurden allein im Studienzweig B festgestellt.

Mit fortschreitender Entwicklung der Geräte wird es sicherlich möglich sein, die Auflösung weiter zu verbessern und einige dieser Unsicherheiten zu reduzieren. Im klinischen Alltag kann die Qualität der Begutachtung noch weiter gesteigert werden, indem dem Begutachter alle Informationen zum Patienten und seiner Klinik zu Verfügung gestellt werden (Kriek und Govender 2006).

Ein zweiter Nachteil der magnetresonanztomographischen Bildgebung ist die aktuell noch geringe Verfügbarkeit. Einerseits ist in den meisten Krankenhäusern, welche stabilisierende Eingriffe an der Wirbelsäule planen und durchführen, ein MRT vorhanden. Andererseits ist diese diagnostische Methode aber im deutschsprachigen Europa nicht in die standardisierte Diagnostik traumatischer thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen integriert (Reinhold et al. 2009 b). Dies kann z. B. durch einen erhöhten Zeitaufwand, die eventuelle Notwendigkeit von Lagerung oder Narkoseeinleitung und das erhöhte Risiko für instabile Patienten bedingt sein. Eine eingeschränkte Anwendbarkeit bei Patienten mit großen oder multiplen Traumata bzw. mit Beatmung wurde bescheinigt (Garvey und Hanlon 2002). Auch die vorausgegangene Instrumentierung mit intrakorporalem metallhaltigen Materialien kann einen Hinderungsgrund darstellen. Andererseits wurde beschrieben, dass zumindest nach Stabilisierung mit Titan an der Wirbelsäule im MRT keine Migration, lokale Erwärmung oder Beeinträchtigung der Bildqualität zu verzeichnen war (Rupp et al. 1993).

### **7.3 Vergleiche mit anderen diagnostischen Methoden**

Das Nativröntgen gilt bis heute im medizinischen Alltag als wichtigstes radiologisches Basisdiagnostikum vor der Therapieentscheidung und zur Verlaufskontrolle bei Verletzungen der Wirbelsäule (Fortin 2002, Goddard und Gholkar 2002, Josten und Katscher 2003, Saifuddin et al 1996). Nach einer Studie im Zeitraum von 2000 bis 2003 befundeten 6 Beobachter 150 Frakturen nur anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen mit einer Interobserverreliabilität von durchschnittlich 0,29. Nach 3 Monaten wurde ein zweiter Auswertungsdurchgang unter gleichen Voraussetzungen, jedoch mit den klinischen

Informationen zu den Patienten durchgeführt. Der resultierende durchschnittliche Wert für den Cohens Kappa betrug nun 0,40. Dabei sei der zuletzt genannte Wert neben den zusätzlich verfügbaren klinischen Informationen auch durch einen gewissen Übungseffekt und die Reduktion des Klassifizierungsauftrags auf die Ebene der Magerl-Typen beeinflusst worden (Kriek und Govender 2006). Es ist jedoch auffällig, dass er nahezu der Reliabilität der in Kapitel 7.1 verglichenen Studien entspricht (Tabelle 22), in welchen zusätzlich Darstellungen vom CT und z.T. auch MRT zur Verfügung standen (Blauth et al. 1999, Oner et al. 2002 a).

Der geringe zeitliche, organisatorische und finanzielle Aufwand, die Verfügbarkeit guter Geräte, die Qualität der Bilder mit einem guten Überblick bei, unter Umständen, feinem Detail werden dem Nativröntgen auch weiterhin einen hohen Stellenwert im diagnostischen Ablauf sichern (Fortin 2002, Reinhold et al. 2009 b, Saifuddin et al 1996).

Andererseits genügt diese bildgebende Modalität zur Diagnosefindung und Therapieplanung nicht. Wie in dieser Studie festgestellt wurde, so dokumentierte man auch anderweitig, dass adäquate Bilder 2,81 bis 7 % signifikanter Wirbelfrakturen nicht zeigen und die Darstellung der Weichteilstrukturen nicht ausreicht (Mower et al. 2001, Plaue 1972). Zudem zeigte sich bei alleiniger Beurteilung durch das Röntgen eine erhöhte Tendenz zur Fehlklassifizierung von Wirbelverletzungen, wie z.B. die verstärkte Verkennung von Berstungsbrüchen als einfache Kompressionsfrakturen (Ballock et al. 1992).

Das CT hat besonders hinsichtlich der Abgrenzung und Darstellung knöcherner Fragmente Vorteile gegenüber dem Nativröntgen (Gestring et al. 2002, Ghoshhajra und Rao 1980, Wintermark et al. 2003) und auch dem MRT (Fortin 2002, Goddard und Gholkar 2002, Hesselink 1988).

Wiederholt wurde beschrieben, dass feine Frakturlinien des Wirbelkörpers in Röntgen und MRT übersehen werden können, die das CT darstellte (Flanders et al. 1990, Mirvis 1988). Besonders im Bereich feinerer knöcherner Strukturen wie sie in der HWS und im Wirbelbogen vorkommen, ist das CT das sicherere diagnostische Mittel (Beers et al. 1988, Flanders et al. 1990, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988, Kliewer et al. 1993).

Auch in dieser Studie fiel auf, dass bei 9 bzw. 11 Frakturen, die im Studienzweig A (Röntgen und CT) als Spalt- bzw. Berstungsbrüche klassifiziert wurden, nach Begutachtung im Studienzweig B (Röntgen und MRT) je 9-mal eine differierende Einstufung als Impaktionsbruch und zweimal als Spaltbruch vorlag.

In 16 Fällen wurde eine abgesprengte Hinterkante in Röntgen und MRT nicht genügend dargestellt, welche in Röntgen und CT nachgewiesen wurde. Zudem fanden sich häufig Unterschiede in der Beschreibung der Lage eines dislozierten Hinterkantenfragmentes.

Bei der Beurteilung der Elemente des Wirbelbogens gab es vermehrt falsch-positive und falsch-negative Angaben im Studienzweig B (Röntgen und MRT), basierend auf den Ergebnissen aus Studienzweig A (Röntgen und CT).

Die Darstellung von Weichteilstrukturen im CT wird unterschiedlich bewertet. Darstellungen von Abstands- und Konturänderungen bei der Bandscheibenpathologie, sowie Abbildungen der Nervenwurzeln und des Spinalkanals wurden beispielsweise als ausreichend beschrieben (Fortin 2002, Ghoshhajra und Rao 1980). Dennoch wird das CT zur Beurteilung ligamentärer Strukturen, sowie assoziierter Auffälligkeiten der Weichteile wie Bandscheibenvorfällen, epi- oder subduralen Hämatomen und Schädigungen von Rückenmark und Nervenwurzeln nicht empfohlen (Goddard und Gholkar 2002).

Die therapeutisch und prognostisch relevante Klassifizierung nach Magerl et al. wurde auf der Grundlage computertomographischer Bilddaten erarbeitet (Magerl et al. 1994) und sollte deshalb für diese bildgebende Modalität zugeschnitten sein. Allerdings wurden bereits Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Distraktionskomponente festgestellt, welche vor allem aus der ungenügenden Darstellung der Ligamenta resultieren (Josten und Katscher 2003, Leferink et al. 2002, Magerl et al. 1994).

Kosten, Zeitaufwand und Strahlenbelastung sind im Vergleich zum Nativröntgen bei der Diagnostik von Wirbelsäulenverletzungen erhöht (Wintermark et al. 2003). Letzteres konnte aber insgesamt in den vergangenen Jahren durch bessere Technik und verantwortungsvollen Gebrauch reduziert wurde (Shrimpton et al. 2003). Ein weiterer Vorteil des CTs gegenüber dem Nativröntgen ist, dass der Patient im posttraumatischen diagnostischen Prozedere relativ wenig umgelagert werden muss um große Abschnitte seines Körpers in unterschiedlichen Ebenen darzustellen (McAfee et al. 1983, Wintermark et al. 2003).

#### **7.4 Bedeutung und Sinn des MRTs in der modernen Frakturdiagnostik bei Wirbelbrüchen**

Besondere diagnostische Stärken des MRTs liegen in der Möglichkeit Weichteilstrukturen, welche im CT nur indirekt beurteilt werden können, direkt darzustellen. Die nicht-ossären Anteile der Wirbelsäule fanden in den letzten 2 Jahrzehnten bezüglich der Diagnostik, Klassifizierung und Therapieplanung bei Frakturen zunehmend Beachtung, was auch mit den

neuen Möglichkeiten der magnetresonanztomographischen Darstellung zusammenhing (Beers et al. 1988, Bühren 2003, Flanders et al. 1990, Fortin 2002, Garvey und Hanlon 2002, Goddard und Gholkar 2002, Green und Saifuddin 2004, Magerl et al. 1994, Oner et al. 1999 b, Oner et al. 2002 a, Oner et al. 2002 b).

Andererseits zwingt die vergleichsweise schlechte magnetresonanztomographische Darstellung der Wirbelkörperkortikalis und kleinerer Knochenstrukturen zu indirekten Rückschlüssen auf ossäre Verletzungen in diesem Bereich (McArdle et al. 1986).

Hinsichtlich der Weichteile spielen beim Wirbelsäulentrauma beispielsweise die Bandscheiben eine wichtige Rolle. Akut wird besonders eine Verletzung mit resultierender Kompression benachbarter neurologischer Strukturen (Beers et al. 1988, Flanders et al. 1990, Saifuddin 2001, Saint-Louis 2001) und einer mechanischen Instabilität gefürchtet (Lu et al. 1996). Im Langzeitverlauf können kleinere Läsionen zur Degeneration (Osti et al. 1990) und zu chronischen Schmerzen (Aprill und Bogduk 1992, Peng et al. 2006, Schellhas et al. 1996) führen. Aufgrund der schlechten Regenerationseigenschaften der Bandscheibe ist hier oft eine chirurgische Korrektur notwendig. Im Vorfeld kann das MRT einen wichtigen diagnostischen Beitrag leisten (Beers et al. 1988, Edelman et al. 1985, Flanders et al. 1990, Grenier et al. 1989, Kerslake et al. 1991, Kliwer et al. 1993, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988, Oner et al. 1998, Oner et al. 1999 a, Saifuddin 2001, Saint-Louis 2001).

Auch der Bandapparat, der die Wirbel umgibt, hat eine zunehmend anerkannte Wichtigkeit für die mechanische Stabilität. Nach Verletzung heilen diese Strukturen ebenfalls schlecht, weshalb operative Maßnahmen erwogen werden sollten. Auch hier offenbarte das MRT klare diagnostische Vorteile (Flanders et al. 1990, Ho et al. 1988, Kerslake et al. 1991, Kliwer et al. 1993, Kulkarni et al. 1987, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988, Petersilge et al. 1995, Tehranzadeh et al. 1992, Terk et al. 1997).

Zudem bietet diese Modalität die Möglichkeit traumaassoziierte Läsionen des Rückenmarks darzustellen (Beers et al. 1988, Chakeres et al. 1987, Flanders et al. 1990, Kulkarni et al. 1987, McArdle et al. 1986, Mirvis et al. 1988). Eine Differenzierung dieser Verletzungen ermöglicht, dass prognostische Aussagen gemacht werden können (Kulkarni et al. 1987).

In diesem Zusammenhang ist auch eine Suche nach posttraumatischen Blutungen von hoher Wichtigkeit. Mittels MRT können sowohl intra- als auch extraspinale Hämatome beurteilt werden (Beers et al. 1988, Bühren 2003, Flanders et al. 1990, Goddard und Gholkar 2002,

Josten und Katscher 2003, Kerslake et al. 1991, La Rosa et al. 1999, McArdle et al. 1986, Pan et al. 1988, Saifuddin et al. 1996).

Hinsichtlich der Klassifizierung liegt ein besonderer Wert des MRTs in der Einschätzung der sogenannten Distraktionskomponente. In der aktuell häufig angewandten Frakturklassifikation nach Magerl et al. wurden diesbezüglich diagnostische Schwierigkeiten bei anderen diagnostischen Methoden beschrieben (Leferink et al. 2002, Magerl et al. 1994, Blauth et al. 1999). Die Verletzung von gegen Zug und Rotation stabilisierenden Bandstrukturen kann mittels MRT beurteilt und so gezielt behandelt werden (Kliwer et al. 1993, Petersilge et al. 1995, Turk et al. 1997). Dafür muss im klinischen und wissenschaftlichen Bereich eine Basis geschaffen werden, die die aktuellen diagnostischen Möglichkeiten einbezieht. Deshalb sollte die Magerl-Klassifikation mit diesem Ziel überarbeitet bzw. konkretisiert werden, wie es auch von anderen Autoren bereits empfohlen wurde (Blauth et al. 1999, Oner et al. 1999 b).

## **7.5 Grenzen und Fehlerquellen im Studienaufbau**

Ziel dieser Studie war es, die diagnostischen Kapazitäten von Röntgen und CT bzw. Röntgen und MRT in einem Umfeld gegenüberzustellen, das dem klinischen Alltag nahekommt. Dies ist an einigen Stellen gelungen, indem die Wirbelsäulendarstellungen aus der klinischen Routine prospektiv an üblichen Betrachtungsstationen ausgewertet wurden. Da die eingeschlossenen Patienten im Zeitraum von März 2002 bis Februar 2006 in der Universitätsklinik Jena meist direkt aufgenommen, aber auch aus anderen Krankenhäusern mit vorausgehender Diagnostik überwiesen wurden, variierte die Qualität der Bilddaten. Zudem mussten die erfahrenen Neurochirurgen die Auswertungen allein und nicht im Team aus chirurgischen und radiologischen Kollegen fällen. Es wurden keine klinischen Daten angeboten, wobei belegt ist, dass dies die diagnostische Genauigkeit steigern kann (Kriek und Govender 2006).

Kleinere Einschränkungen, welche aus diesem Studienansatz resultierten, wurden schon vorher diskutiert. Ein großer Nachteil ergab sich aber daraus, dass neben den Begutachtungen in beiden Studienzweigen keine absolute Auswertung der Daten möglich war. Die erhobenen relativen Ergebnisse hätten an Aussagekraft gewonnen. Zudem hätte man auch falsch-positive und falsch-negative Befunde in der Beurteilung von Röntgen und CT genauer definieren können.

## 8 Schlussfolgerungen

In dieser Promotionsstudie sollte prospektiv gesammeltes Bildmaterial aus der diagnostischen Routineuntersuchung am Universitätsklinikum Jena von 100 Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen ausgewertet werden. Dabei wurden die Daten von Nativröntgen und CT denen aus Nativröntgen und MRT vergleichend gegenübergestellt.

Bezüglich der Fragenstellung aus Kapitel 3 resultierten folgende Feststellungen:

Innerhalb des Studienzweiges B (Röntgen und MRT) konnten 2 Frakturen erst nach Darbietung der magnetresonanztomographischen Bilder festgestellt werden. Im Nativröntgen allein wurden sie nicht ausreichend dargestellt.

In der globalen Suche nach Wirbelverletzungen bot die magnetresonanztomographische Darstellung den Vorteil ein sogenanntes „bone bruise“ als Zeichen einer posttraumatischen Affektion der Wirbel darzustellen. Bilder, die diese Kombination aus Mikrofrakturen, Hämatom und Knochenmarksödem widerspiegeln, konnten Hinweise auf eine Fraktur geben, aber auch Verletzungen darstellen, die keine computertomographischen Zeichen boten. Andererseits zeigte sich bei der Einschätzung des Wirbelkörpers die Gefahr, im MRT besonders feine Frakturlinien zu übersehen. Die Darstellung abgesprengter Fragmente stimmte häufig überein, wobei sich jedoch leichte Differenzen in der Feststellung und größere in der Beschreibung der Position dieser Fragmente ergaben. Im Wirbelbogen fielen im MRT tendenziell mehr frakturverdächtige Areale auf, als im CT bestätigt wurden. Eine Beurteilung der ossären dorsalen Strukturen mittels MRT war häufig ungenau.

Bandscheibenveränderungen konnten im MRT mit deutlich höherer Aussagekraft dargestellt werden. Eine Lokalisierung und Unterscheidung zwischen akutem und chronischem Schaden war möglich und entscheidend für die Therapieplanung.

Bandstrukturen konnten im CT häufig nur indirekt beurteilt werden. Im MRT war es möglich über die Affektion dieser Strukturen nicht nur quantitative, sondern auch qualitative Aussagen zu gewinnen. Eine Relevanz für die Klassifizierung und Therapieplanung wurde belegt.

10 Frakturen, die man nach Begutachtung des Wirbelsäulenabschnitts im Röntgen und CT als Typ-A oder -B-Frakturen klassifiziert hatte, wurden nach Sichtung der Daten im Röntgen und MRT einem höheren Frakturtyp zugewiesen. Bei 7 dieser Frakturen fanden sich im MRT konkrete Merkmale einer Affektion des PLC, wobei im Röntgen oder CT keine direkten oder

indirekten Hinweise darauf festgestellt wurden. Operative Maßnahmen waren allein durch den PLC-Befund im MRT bei 3 Patienten indiziert. Bei den restlichen Patienten kamen weitere Indikationen für eine chirurgische Intervention hinzu.

Es fanden sich 66 Patienten, bei denen aufgrund der Klassifizierung nach Magerl et al. im Studienarm A (Röntgen und CT) eine konservative Therapie ausgereicht hätte. Anteilig wurden in 44 Fällen eine Bandscheibenverletzung, in 5 Fällen ein epidurales Hämatom und in 3 Fällen eine Verletzung des hinteren Bandkomplexes festgestellt, sodass dadurch die Indikation für eine operative Behandlung gesteigert wurde.

In insgesamt 17 Fällen stellte sich im MRT ein epidurales Hämatom dar. Diese Patienten wurden zeitnah offen dekomprimiert.

Neuere magnetresonanztomographische Geräte gaben einen guten Überblick über das posttraumatische Verletzungsgeschehen der Wirbelsäule bei mit dem CT vergleichbarer Scanzeit, jedoch ohne Strahlenbelastung. Sie boten klare Vorteile in der Begutachtung von Weichteilgeweben. So konnte der Zustand von Bandscheiben und neuralen Strukturen gut beurteilt werden. Zudem war die Differenzierung von Verletzungen ligamentärer Strukturen möglich, welche in zukünftige therapierelevante Klassifikationen integriert werden sollten.

Nachteile zeigten sich gegenüber dem CT in der Darstellung feiner knöcherner Strukturen. In unserer Studie ergaben sich z.T. klassifikations- und therapierelevante Unterschiede in der Einschätzung von Frakturlinien im Wirbelkörper und von abgesprengten Fragmenten. Die Anteile des Wirbelbogens sollten eher in Zusammenhang mit den angrenzenden Geweben beurteilt werden. Das MRT bot hier zusätzliche Hinweise auf Verletzungen angrenzender ligamentärer Strukturen, während dorsale knöcherne Elemente schwer zu beurteilen waren.

Aktuelle Klassifikationen von Wirbelsäulenfrakturen beziehen sich noch stark auf die ossären Anteile der Wirbelsäule. Zudem wird bei der chirurgischen Stabilisierung in diesen Anteilen instrumentiert.

Deshalb und resultierend aus den Ergebnissen dieser Promotionsstudie kann geschlussfolgert werden, dass das MRT das CT in der Diagnostik von Wirbelsäulenfrakturen nicht ersetzen darf. Es sollte aber als ergänzendes Diagnostikum mit hoher und steigender Relevanz angewendet werden.

Zudem wäre eine Adaptation der Magerl-Klassifikation an die neuen diagnostischen Möglichkeiten, die das MRT bietet, wünschenswert.

## 9 Literaturverzeichnis

- Ağuş H, Kayali C, Arslantaş M. 2005.** Nonoperative treatment of burst-type thoracolumbar vertebra fractures: clinical and radiological results of 29 patients. *Eur Spine J*, 14(6):536-40.
- Akbarnia BA, Crandall DG, Burkus K, Matthews T. 1994.** Use of long rods and a short arthrodesis for burst fractures of the thoracolumbar spine; A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*, 76(11):1629-35.
- Allen BL, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP. 1982.** A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine*, 7(1):1-27.
- Ambrose J. 1973.** Computerized transverse axial scanning (tomography); 2; Clinical application. *Br J Radiol*, 46(552):1023-47.
- Aprill C, Bogdík N. 1992.** High-intensity zone: a diagnostic sign of painful lumbar disc on magnetic resonance imaging. *Br J Radiol*, 65(773):361-9.
- Atlas SW, Regenbogen V, Rogers LF, Kim KS. 1986.** The radiographic characterization of burst fractures of the spine. *AJR Am J Roentgenol*, 147(3):575-82.
- Auerbach JD, Johannessen W, Borthakur A, Wheaton AJ, Dolinskas CA, Balderston RA, Reddy R, Elliott DM. 2006.** In vivo quantification of human lumbar disc degeneration using T(1rho)-weighted magnetic resonance imaging. *Eur Spine J*, 15 Suppl 3: 338-44.
- Ballock RT, Mackersie R, Abitbol JJ, Cervilla V, Resnick D, Garfin SR. 1992.** Can burst fractures be predicted from plain radiographs. *J Bone Joint Surg Br*, 74(1):147-50.
- Beers GJ, Raque GH, Wagner GG, Shields CB, Nichols GR 2nd, Johnson JR, Meyer JE 1988.** MR imaging in acute cervical spine trauma. *J Comput Assist Tomogr* 12(5):755-61.
- Benson DR, Burkus JK, Montesano PX, Sutherland TB, McLain RF. 1992.** Unstable thoracolumbar and lumbar burst fractures treated with the AO fixateur interne. *J Spinal Disord*, 5(3):335-43.
- Blauth M, Bastian L, Knop C, Lange U, Tusch G. 1999.** Interobserverreliabilität bei der Diagnostik von thorakolumbalen Wirbelsäulenerletzungen. *Der Orthopäde*, 28(8):662-81.
- Bloch F. 1946.** Nuclear induction. *Physical Review*, 70, 460 - 474.
- Boden SD, Davis DO, Dina TS, Patronas NJ, Wiesel SW. 1990.** Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects; A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am*, 72(3):403-8.
- Böhler L, Hrsg. 1951 a.** Die Technik der Knochenbruchbehandlung. *Dreizehnte Aufl. Wien: Maudrich*, 323-25.



- Böhler L, Hrsg. 1951 b.** Die Technik der Knochenbruchbehandlung. *Dreizehnte Aufl. Wien: Maudrich, 319-21, 343-467.*
- Bohlman HH, Anderson PA. 1992.** Anterior decompression and arthrodesis of the cervical spine: long-term motor improvement; Part I-Improvement in incomplete traumatic quadriplegia. *J Bone Joint Surg Am, 74(5):671-82.*
- Bonnaire F, Röhl H. 2005.** Epidemiologie und historischer Abriss der Behandlung. *Trauma und Berufskrankheit, 7(2):334-339.*
- Bradford DS, McBride GG. 1987.** Surgical management of thoracolumbar spine fractures with incomplete neurologic deficits. *Clin Orthop Relat Res, (218):201-16.*
- Brightman RP, Miller CA, Rea GL, Chakeres DW, Hunt WE. 1992.** Magnetic resonance imaging of trauma to the thoracic and lumbar spine; The importance of the posterior longitudinal ligament. *Spine, 17(5):541-50.*
- Bühren V. 2003.** Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Unfallchirurg, 106(1):55-69.*
- Chakeres DW, Flickinger F, Bresnahan JC, Beattie MS, Weiss KL, Miller C, Stokes BT. 1987.** MR imaging of acute spinal cord trauma. *AJNR Am J Neuroradiol, 8(1):5-10.*
- Chapman J, Bransford R. 2007.** Geriatric spine fractures: an emerging healthcare crisis. *J Trauma, 62(6 Suppl):61-2.*
- Court-Brown CM, Caesar B. 2006.** Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury, 37(8):691-7.*
- Crotty JM, Monu JU, Pope TL Jr. 1996.** Magnetic resonance imaging of the musculoskeletal system; Part 4; The knee. *Clin Orthop Relat Res, (330):288-303.*
- Dall BE, Stauffer ES. 1988.** Neurologic injury and recovery patterns in burst fractures at the T12 or L1 motion segment. *Clin Orthop Relat Res, (233):171-6.*
- Danisa OA, Shaffrey CI, Jane JA, Whitehill R, Wang GJ, Szabo TA, Hansen CA, Shaffrey ME, Chan DP. 1995.** Surgical approaches for the correction of unstable thoracolumbar burst fractures: a retrospective analysis of treatment outcomes. *J Neurosurg, 83(6):977-83.*
- Delawi D, Dhert WJ, Castelein RM, Verbout AJ, Oner FC. 2007.** The incidence of donor site pain after bone graft harvesting from the posterior iliac crest may be overestimated: a study on spine fracture patients. *Spine, 1;32(17):1865-8.*
- Denis F. 1983.** The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine, 8(8):817-31.*
- Dickson JH, Harrington PR, Erwin WD. 1978.** Results of reduction and stabilization of the severely fractured thoracic and lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am, 60(6):799-805.*
- Dimar JR 2nd, Glassman SD, Raque GH, Zhang YP, Shields CB. 1999.** The influence of spinal canal narrowing and timing of decompression on neurologic recovery after spinal cord contusion in a rat model. *Spine 15;24(16):1623-33.*

- Eberl R, Kaminski A, Müller EJ, Muhr G. 2003.** Die Bedeutung des Wirbelkanaldurchmessers im thorakolumbalen und lumbalen Bereich nach Trauma. *Der Orthopäde*, 32(10):859-864.
- Edelman RR, Shoukimas GM, Stark DD, Davis KR, New PF, Saini S, Rosenthal DI, Wismer GL, Brady TJ. 1985.** High-resolution surface-coil imaging of lumbar disk disease. *AJR Am J Roentgenol*, 144(6):1123-9.
- Emery SE, Pathria MN, Wilber RG, Masaryk T, Bohlman HH. 1989.** Magnetic resonance imaging of posttraumatic spinal ligament injury. *J Spinal Disord*, 2(4):229-33.
- Esses SI, Botsford DJ, Kostuik JP. 1990.** Evaluation of surgical treatment for burst fractures. *Spine*, 15(7):667-73.
- Fehlings MG, Perrin RG. 2005.** The role and timing of early decompression for cervical spinal cord injury: update with a review of recent clinical evidence. *Injury*, 36(2):13-26.
- Fehlings MG, Perrin RG. 2006.** The timing of surgical intervention in the treatment of spinal cord injury: a systematic review of recent clinical evidence. *Spine*, 31(11):28-35.
- Ferguson RL, Allen BL Jr. 1984.** A mechanistic classification of thoracolumbar spine fractures. *Clin Orthop Relat Res*, 189:77-88.
- Flanders AE, Schaefer DM, Doan HT, Mishkin MM, Gonzalez CF, Northrup BE. 1990.** Acute cervical spine trauma: correlation of MR imaging findings with degree of neurologic deficit. *Radiology*, 177(1):25-33.
- Fontijne WP, de Klerk LW, Braakman R, Stijnen T, Tanghe HL, Steenbeek R, van Linge B. 1992.** CT scan prediction of neurological deficit in thoracolumbar burst fractures. *J Bone Joint Surg Br*, 74(5):683-5.
- Fortin J. 2002.** An algorithm for understanding spine imaging. *Pain Physician*, 5(1):102-9.
- Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, Vernon JD, Walsh JJ. 1969.** The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia; I. *Paraplegia*, 7(3):179-92.
- Fürderer S, Wenda K, Thiem N, Hachenberger R, Eysel P. 2001.** Traumatic intervertebral disc lesion - magnetic resonance imaging as a criterion for or against intervertebral fusion. *Eur Spine J*, 10(2):154-63.
- Galacher SJ, Gallagher AP, McQuillian C, Mitchell PJ, Dixon T. 2007.** The prevalence of vertebral fracture amongst patients presenting with non-vertebral fractures. *Osteoporos Int*, 18(2):185-92.
- Garfin SR, Buckley RA, Ledlie J; Balloon Kyphoplasty Outcomes Group. 2006.** Balloon kyphoplasty for symptomatic vertebral body compression fractures results in rapid, significant, and sustained improvements in back pain, function, and quality of life for elderly patients. *Spine*, 31(19):2213-20.

- Garvey CJ, Hanlon R. 2002.** Computed tomography in clinical practice. *BMJ*, 324(7345):1077-80.
- Gertzbein SD. 1992.** Scoliosis Research Society; Multicenter spine fracture study. *Spine*, 17(5):528-40.
- Gestring ML, Gracias VH, Feliciano MA, Reilly PM, Shapiro MB, Johnson JW, Klein W, Kauder DR, Schwab CW. 2002.** Evaluation of the lower spine after blunt trauma using abdominal computed tomographic scanning supplemented with lateral scanograms. *J Trauma*, 53(1):9-14.
- Ghoshhajra K, Rao KC. 1980.** CT in spinal trauma. *J Comput Tomogr*, 4(4):309-18.
- Goddard AJP, A Gholkar. 2002.** Diagnostic and therapeutic radiology of the spine: an overview. *Imaging*, 14:355-373.
- Goldberg AL, Rothfus WE, Deeb ZL, Frankel DG, Wilberger JE Jr, Daffner RH. 1989.** Hyperextension injuries of the cervical spine; Magnetic resonance findings. *Skeletal Radiol*, 18(4):283-8.
- Green RA, Saifuddin A. 2004.** Whole spine MRI in the assessment of acute vertebral body trauma. *Skeletal Radiol*, 33(3):129-35.
- Grenier N, Greselle JF, Vital JM, Kien P, Baulny D, Broussin J, Senegas J, Caille JM. 1989.** Normal and disrupted lumbar longitudinal ligaments: correlative MR and anatomic study. *Radiology*, 171(1):197-205.
- Guerra J Jr, Garfin SR, Resnick D. 1984.** Vertebral burst fractures: CT analysis of the retropulsed fragment. *Radiology*, 153(3):769-72.
- Gumpfenberg S, Allgayer B, Vieweg J, Claudi B. 1991.** Die Validität der Kernspintomographie bei der Beurteilung der traumatisierten Bandscheibe. *Langenbeck Archives of Surgery*, 376(6):346-350.
- Harrington RM, Budorick T, Hoyt J, Anderson PA, Tencer AF. 1993.** Biomechanics of indirect reduction of bone retropulsed into the spinal canal in vertebral fracture. *Spine*, 18(6):692-9.
- Hashimoto T, Kaneda K, Abumi K. 1988.** Relationship between traumatic spinal canal stenosis and neurologic deficits in thoracolumbar burst fractures. *Spine*, 13(11):1268-72.
- Hayes CW, Conway WF, Daniel WW. 1993.** MR imaging of bone marrow edema pattern: transient osteoporosis, transient bone marrow edema syndrome, or osteonecrosis. *Radiographics*, 13(5):1001-11.
- Hege HC. 2005.** Hintergrundinformationen zum Artikel: Neue Bilder in der Medizin [Report]. Berlin: Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik.
- Hesselink JR. 1988.** Spine imaging: history, achievements, remaining frontiers. *AJR Am J Roentgenol*, 150(6):1223-9.

- Ho PS, Yu SW, Sether LA, Wagner M, Ho KC, Haughton VM. 1988.** Ligamentum flavum: appearance on sagittal and coronal MR images. *Radiology*, 168(2):469-72.
- Hochmuth K, Mack MG, Kurth AA, Zichner L, Vogl TJ. 2002.** Sport-assoziierte Verletzungen der Wirbelsäule. *Radiologe*, 42:823–832.
- Holdsworth F. 1970.** Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J Bone Joint Surg Am*, 52(8):1534-51.
- Hounsfield GN. 1980.** Computed medical imaging; Nobel lecture, Decemberr 8, 1979. *J Comput Assist Tomogr*, 4(5):665-74.
- Hu R, Mustard CA, Burns C. 1996.** Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population. *Spine*, 21(4):492-9.
- Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, Berlemann U. 2006.** Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies. *Spine*, 31(17):1983-2001.
- Johannessen W, Auerbach JD, Wheaton AJ, Kurji A, Borthakur A, Reddy R, Elliott DM. 2006.** Assessment of human disc degeneration and proteoglycan content using T1rho-weighted magnetic resonance imaging. *Spine*, 15;31(11):1253-7.
- Josten C, Katscher. 2003.** Radiologische Diagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen. *Akt Traumatol*, 33:157-164.
- Kerslake RW, Jaspan T, Worthington BS. 1991.** Magnetic resonance imaging of spinal trauma. *Br J Radiol*, 64(761):386-402.
- Kliwer MA, Gray L, Paver J, Richardson WD, Vogler JB, McElhaney JH, Myers BS. 1993.** Acute spinal ligament disruption: MR imaging with anatomic correlation. *J Magn Reson Imaging*, 3(6):855-61.
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdörfer O. 1999.** Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs - Teil 1: Epidemiologie. *Der Unfallchirurg*, 102(12):924-35.
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdörfer O. 2000.** Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. *Der Unfallchirurg*, 103(12):1032-47.
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Arand M, Egbers HJ, Hax PM, Nothwang J, Oestern HJ, Pizanis A, Roth R, Weckbach A, Wentzensen A. 2001.** Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs Teil 3: Nachuntersuchung. *Der Unfallchirurg*, 104(7):583-600.
- Kriek JJ, Govender S. 2006.** AO-classification of thoracic and lumbar fractures - reproducibility utilizing radiographs and clinical information. *Eur Spine J*, 15(8):1239-46.
- Kulkarni MV, McArdle CB, Kopanicky D, Miner M, Cotler HB, Lee KF, Harris JH. 1987.** Acute spinal cord injury: MR imaging at 1,5 T. *Radiology*, 164(3):837-43.

- La Rosa, d'Avella D, Conti A, Cardali S, La Torre D, Cacciola F, Longo M, Tomasello F. 1999.** Magnetic resonance imaging-monitored conservative management of traumatic spinal epidural hematomas: report of four cases. *J Neurosurg*, 91(1):128-32.
- Landis JR, Koch GG. 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1):159-74.
- Lauterbur PC. 1989.** Image formation by induced local interactions; Examples employing nuclear magnetic resonance; 1973. *Clin Orthop Relat Res*, (244):3-6.
- Lee HM, Kim HS, Kim DJ, Suk KS, Park JO, Kim NH. 2000.** Reliability of magnetic resonance imaging in detecting posterior ligament complex injury in thoracolumbar spinal fractures. *Spine*, 25(16):2079-84.
- Leferink VJ, Veldhuis EF, Zimmerman KW, ten Vergert EM, ten Duis HJ. 2002.** Classificational problems in ligamentary distraction type vertebral fractures: 30% of all B-type fractures are initially unrecognised. *Eur Spine J*, 11(3):246-50.
- Lin RM, Panjabi MM, Oxland TR. 1993.** Functional radiographs of acute thoracolumbar burst fractures; A biomechanical study. *Spine* 18(16):2431-7.
- Lindsey RW, Dick W. 1991.** The fixateur interne in the reduction and stabilization of thoracolumbar spine fractures in patients with neurologic deficit. *Spine*, 16(3):140-5.
- Lu YM, Hutton WC, Gharpuray VM. 1996.** Can variations in intervertebral disc height affect the mechanical function of the disc. *Spine* 21(19):2208-16.
- Lynch TC, Crues JV 3rd, Morgan FW, Sheehan WE, Harter LP, Ryu R. 1989.** Bone abnormalities of the knee: prevalence and significance at MR imaging. *Radiology*, 171(3):761-6.
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. 1994.** A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J*, 3(4):184-201.
- Malcolm BW, Bradford DS, Winter RB, Chou SN. 1981.** Post-traumatic kyphosis; A review of forty-eight surgically treated patients. *J Bone Joint Surg Am*, 63(6):891-9.
- Mariconda M, Galasso O, Imbimbo L, Lotti G, Milano C. 2007.** Relationship between alterations of the lumbar spine, visualized with magnetic resonance imaging, and occupational variables. *Eur Spine J*, 16(2):255-66.
- McAfee PC, Yuan HA, Fredrickson BE, Lubicky JP. 1983.** The value of computed tomography in thoracolumbar fractures; An analysis of one hundred consecutive cases and a new classification. *J Bone Joint Surg Am*, 65(4):461-73.
- McArdle CB, Crofford MJ, Mirfakhraee M, Amparo EG, Calhoun JS. 1986.** Surface coil MR of spinal trauma: preliminary experience. *AJNR Am J Neuroradiol*, 7(5):885-93.
- McCormack T, Karaikovic E, Gaines RW. 1994.** The load sharing classification of spine fractures. *Spine*, 19(15):1741-4.

- McKinley W, Meade MA, Kirshblum S, Barnard B. 2004.** Outcomes of early surgical management versus late or no surgical intervention after acute spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(11):1818-25.
- Miller MD, Osborne JR, Gordon WT, Hinkin DT, Brinker MR. 1998.** The natural history of bone bruises; A prospective study of magnetic resonance imaging-detected trabecular microfractures in patients with isolated medial collateral ligament injuries. *Am J Sports Med*, 26(1):15-9.
- Mink JH, Deutsch AL. 1989.** Occult cartilage and bone injuries of the knee: detection, classification, and assessment with MR imaging. *Radiology*, 170(3):823-9.
- Mirvis SE, Geisler FH, Jelinek JJ, Joslyn JN, Gellad F. 1988.** Acute cervical spine trauma: evaluation with 1,5-T MR imaging. *Radiology* 166(3):807-16.
- Modic MT, Pavlicek W, Weinstein MA, Boumphrey F, Ngo F, Hardy R, Duchesneau PM. 1984.** Magnetic resonance imaging of intervertebral disk disease. Clinical and pulse sequence considerations. *Radiology*, 152(1):103-11.
- Moll R, Schindler G, Weckbach A. 2002.** Beurteilung der ventralen Stabilisierungstechniken thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen mit Hilfe der Computertomographie. *Fortschr Röntgenstr*, 174: 880-886.
- Moskopp D, Wassmann H, Hrsg. 2005.** Neurochirurgie, Handbuch für die Weiterbildung und interdisziplinäres Nachschlagewerk. *Erste Aufl. Stuttgart: Schattauer*, 850.
- Mower WR, Hoffman JR, Pollack CV Jr, Zucker MI, Browne BJ, Wolfson AB; NEXUS Group. 2001.** Use of plain radiography to screen for cervical spine injuries. *Ann Emerg Med*, 38(1):1-7.
- Nicoll EA. 1949.** Fractures of the dorso-lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am*, 31B(3):376-94.
- Olerud S, Karlström G, Sjöström L. 1988.** Transpedicular fixation of thoracolumbar vertebral fractures. *Clin Orthop Relat Res* 227:44-51.
- Oner FC, van der Rijt RR, Ramos LM, Dhert WJ, Verbout AJ. 1998.** Changes in the disc space after fractures of the thoracolumbar spine. *J Bone Joint Surg Br*, 80(5):833-9.
- Oner FC, vd Rijt RH, Ramos LM, Groen GJ, Dhert WJ, Verbout AJ. 1999 a.** Correlation of MR images of disc injuries with anatomic sections in experimental thoracolumbar spine fractures. *Eur Spine J*, 8(3):194-8.
- Oner FC, van Gils AP, Dhert WJ, Verbout AJ. 1999 b.** MRI findings of thoracolumbar spine fractures: a categorisation based on MRI examinations of 100 fractures. *Skeletal Radiol*, 28(8):433-43.
- Oner FC. 1999 c.** Thoracolumbar spine fractures: diagnostic and prognostic parameters [Dissertation]. *Utrecht: Universiteit Utrecht*.
- Oner FC, Ramos LM, Simmermacher RK, Kingma PT, Diekerhof CH, Dhert WJ, Verbout AJ. 2002 a.** Classification of thoracic and lumbar spine fractures: problems of reproducibility; A study of 53 patients using CT and MRI. *Eur Spine J*, 11(3):235-45.

- Oner FC, van Gils AP, Faber JA, Dhert WJ, Verbout AJ. 2002 b.** Some complications of common treatment schemes of thoracolumbar spine fractures can be predicted with magnetic resonance imaging: prospective study of 53 patients with 71 fractures. *Spine*, 27(6):629-36.
- Osti OL, Vernon-Roberts B, Fraser RD. 1990.** Anulus tears and intervertebral disc degeneration: An experimental study using an animal model. *Spine*, 15:762–7.
- Pan G, Kulkarni M, MacDougall DJ, Miner ME. 1988.** Traumatic epidural hematoma of the cervical spine: diagnosis with magnetic resonance imaging, Case report. *J Neurosurg*, 68(5):798-801.
- Peng B, Hou S, Wu W, Zhang C, Yang Y. 2006.** The pathogenesis and clinical significance of a high-intensity zone (HIZ) of lumbar intervertebral disc on MR imaging in the patient with discogenic low back pain. *Eur Spine J*, 15(5):583-7.
- Petersilge CA, Pathria MN, Emery SE, Masaryk TJ. 1995.** Thoracolumbar burst fractures: evaluation with MR imaging. *Radiology*, 194(1):49-54.
- Pfirschmann CW, Metzendorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. 2001.** Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine*, 26(17):1873-8.
- Pinar H, Akseki D, Kovanlikaya I, Araç S, Bozkurt M. 1997.** Bone bruises detected by magnetic resonance imaging following lateral ankle sprains. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 5(2):113-7.
- Plaue R. 1972.** Experimentelle Untersuchungen über die Grenzen der röntgenologischen Darstellung von Wirbelbrüchen. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 72(4):343-349.
- Purcell EM, Torrey HC, Pound RV. 1946.** Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid. *Physical Review*, 69(1-2):37.
- Qaiyum M, Tyrrell PN, McCall IW, Cassar-Pullicino VN. 2001.** MRI detection of unsuspected vertebral injury in acute spinal trauma: incidence and significance. *Skeletal Radiol*, 30(6):299-304.
- Rangger C, Kathrein A, Freund MC, Klestil T, Kreczy A. 1998.** Bone bruise of the knee: histology and cryosections in 5 cases. *Acta Orthop Scand*, 69(3):291-4.
- Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M 2003.** Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Der Unfallchirurg*, 106(7):566-576.
- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. 2009 a.** Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule, Teil 1: Epidemiologie. *Der Unfallchirurg*, 112(1):33-42, 44-5.
- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. 2009 b.** Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule, Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. *Der Unfallchirurg*, 112(2):149-67.

- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. 2009 c.** Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule, Teil 3: Nachuntersuchung. *Der Unfallchirurg*, 112(3):294-316.
- Röntgen WC, Hrsg. 1895.** Ueber eine neue Art von Strahlen. *Würzburg: Sitzungsberichte der Würzburger Physik-medice Gesellschaft*.
- Rupp R, Ebraheim NA, Savolaine ER, Jackson WT. 1993.** Magnetic resonance imaging evaluation of the spine with metal implants; General safety and superior imaging with titanium. *Spine* 18(3):379-85.
- Saifuddin A, Noordeen H, Taylor BA, Bayley I. 1996.** The role of imaging in the diagnosis and management of thoracolumbar burst fractures: current concepts and a review of the literature. *Skeletal Radiol*, 25(7):603-13.
- Saifuddin A. 2001.** MRI of acute spinal trauma. *Skeletal Radiol*, 30(5):237-46.
- Saint-Louis LA. 2001.** Lumbar spinal stenosis assessment with computed tomography, magnetic resonance imaging, and myelography. *Clin Orthop Relat Res*, (384):122-36.
- Sanders TG, Medynski MA, Feller JF, Lawhorn KW. 2000.** Bone contusion patterns of the knee at MR imaging: footprint of the mechanism of injury. *Radiographics*, 20:135-51.
- Schellhas KP, Pollei SR, Gundry CR, Heithoff KB. 1996.** Lumbar disc high-intensity zone; Correlation of magnetic resonance imaging and discography. *Spine*, 21(1):79-86.
- Scheunemann D, Lehmann W, Briem D, Stork A, Windolf J, Rueger JM, Linhart W. 2005.** Zur Bedeutung der MRT-Diagnose -bone bruise- bei kindlichen Wirbelsäulenverletzungen. *Der Unfallchirurg*, 108(8):638-44.
- Schüller-Weidekamm C. 2007.** Incidence of chronic knee lesions in long- distance runners based on training level: Findings at MRI. *Der Radiologe*, 47(4):284-284.
- Schwerdfeger K, Steudel WI, Pitzen T, Mautes AEM. 2004.** Spinales Trauma - Epidemiologie, Versorgungsalgorithmus, Behandlung und Prognose. *Intensivmedizin und Notfallmedizin*, 41(2):71-80.
- Shiba K, Katsuki M, Ueta T, Shirasawa K, Ohta H, Mori E, Rikimaru S. 1994.** Transpedicular fixation with Zielke instrumentation in the treatment of thoracolumbar and lumbar injuries. *Spine*, 19(17):1940-9.
- Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M. 2005.** Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK: 2003 review, NRPB-W67. *Chilcot, UK: National Radiological Protection Board*.
- Siebenga J, Leferink VJ, Segers MJ, Elzinga MJ, Bakker FC, Haarman HJ, Rommens PM, ten Duis HJ, Patka P. 2006.** Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment. *Spine*, 31(25):2881-90.
- Silver JR. 2005.** History of the treatment of spinal injuries. *Postgrad Med J*, 81:108-114.



- Speth MJ, Oner FC, Kadic MA, de Klerk LW, Verbout AJ. 1995.** Recurrent kyphosis after posterior stabilization of thoracolumbar fractures; 24 cases treated with a Dick internal fixator followed for 1,5-4 years. *Acta Orthop Scand*, 66(5):406-10.
- Tehraneh J, Kerr R, Amster J. 1992.** Magnetic resonance imaging of tendon and ligament abnormalities: Part I; Spine and upper extremities. *Skeletal Radiol*, 21(1):1-9.
- Teli M, de Roeck N, Horwitz MD, Saifuddin A, Green R, Noordeen H. 2005.** Radiographic outcome of vertebral bone bruise associated with fracture of the thoracic and lumbar spine in adults. *Eur Spine J*, 14(6):541-5.
- Terk MR, Hume-Neal M, Fraipont M, Ahmadi J, Colletti PM. 1997.** Injury of the posterior ligament complex in patients with acute spinal trauma: evaluation by MR imaging. *AJR Am J Roentgenol*, 168(6):1481-6.
- Trampisch HJ, Windeler J, Ehle B, Hrsg. 2000.** Medizinische Statistik. *Zweite Aufl. Berlin: Springer.*
- Vaccaro AR, Baron EM, Sanfilippo J, Jacoby S, Steuve J, Grossman E, DiPaola M, Ranier P, Austin L, Ropiak R, Ciminello M, Okafor C, Eichenbaum M, Rapuri V, Smith E, Orozco F, Ugolini P, Fletcher M, Minnich J, Goldberg G, Wilsey J, Lee JY, Lim MR, Burns A, Marino R, DiPaola C, Zeiller L, Zeiler SC, Harrop J, Anderson DG, Albert TJ, Hilibrand AS. 2006.** Reliability of a novel classification system for thoracolumbar injuries: the Thoracolumbar Injury Severity Score. *Spine*, 31(11):62-9.
- Van der Roer N, de Lange ES, Bakker FC, de Vet HC, van Tulder MW. 2005.** Management of traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature. *Eur Spine J*, 14(6):527-34.
- Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel I, Verbout AJ, Dhert WJ, Oner FC. 2004.** Surgical Treatment of Traumatic Fractures of the Thoracic and Lumbar Spine: A Systematic Review of the Literature on Techniques, Complications and Outcome. *Spine*, 29(7):803-14.
- Vincken PW, Ter Braak BP, van Erkel AR, Coerkamp EG, Mallens WM, Bloem JL. 2006.** Clinical consequences of bone bruise around the knee. *Eur Radiol*, 16(1):97-107.
- Vogler JB 3rd, Murphy WA. 1988.** Bone marrow imaging. *Radiology*, 168(3):679-93.
- Walther M, Stäbler A. 2005.** Das Knochenödem am Fuß. *Fuß und Sprunggelenk*, 4(3):174-83.
- Weinstein JN, Boden SD, An H. 2003.** Emerging technology in spine: should we rethink the past or move forward in spite of the past. *Spine*, 1;28(15):S1.
- White AA, Panjabi MM. 1978.** Clinical biomechanics of the spine [Abstract]. *Philadelphia: Lippincott.*
- Whitesides TE Jr. 1977.** Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. *Clin Orthop Relat Res*, (128):78-92.

**Wintermark M, Mouhsine E, Theumann N, Mordasini P, van Melle G, Leyvraz PF, Schnyder P. 2003.** Thoracolumbar spine fractures in patients who have sustained severe trauma: depiction with multi-detector row CT. *Radiology*, 227(3):681-9.

**Wolter D, Faschingbauer M, Jürgens C. 2001.** Langzeitergebnisse und Folgeeingriffe der primären dorsalen Versorgung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen mit dem Druckplattenfixateur interne. *Trauma und Berufskrankheit*, 3(3):311-314.

**Wright RW, Phaneuf MA, Limbird TJ, Spindler KP. 2000.** Clinical outcome of isolated subcortical trabecular fractures (bone bruise) detected on magnetic resonance imaging in knees. *Am J Sports Med*, 28(5):663-7.

## 10 Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und zusätzlichen Darstellungen

### Abbildungen:

<b>Nummer:</b>	<b>Titel:</b>	<b>Seite:</b>
1	Altersverteilung im Patientenkollektiv	20
2	Höhenverteilung aller 153 Frakturen und Anteil der Mehrsegmentfrakturen	21
3	Verteilung der Frakturen nach Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score	22
4	Verteilung der Status nach Oner (Oner et al. 1999 b)	38
5	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für ALL (Status 1-3 möglich)	39
6	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für PLL (Status 1-3 möglich)	41
7	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für PLC (Status 1-4 möglich)	42
8	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für COR (Status 1-3 möglich)	43
9	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für EP (Status 0-4 möglich)	45
10	Verteilung der Status nach Oner et al. bezüglich der Magerl-Klassifikation für DI (Status 1-4 möglich)	46
11	Beispiel eines Patienten mit frakturassoziiertem Hämatom im MRT (T2)	48
12	Verteilung der Hämatome bezüglich der Magerl-Klassifikation	49
13	Höhenverteilung der Frakturen im CT (124 Frakturen) und MRT (111 Frakturen und 55 Wirbel mit Ödem)	50
14	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Typen und Gruppen)	55
15	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Subgruppen 1)	56

**Fortsetzung Abbildungen:**

<b>Nummer:</b>	<b>Titel:</b>	<b>Seite:</b>
16	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Subgruppen 2)	57
17	Zusatzbefunde beim MRT im Vergleich zum CT – Wirbelsäulenachse, Wirbelkörper und Hinterkantenfragment	59
18	Zusatzbefunde beim MRT im Vergleich zum CT – Bogenwurzel, Lamina, Dorn- und Querfortsätze	60
19	Zusatzbefunde beim MRT im Vergleich zum CT – kleine Wirbelgelenke, Gelenkfortsätze, Interartikularportion, Rippen, Weichteile	61
20	Berechnung der Sensitivität und Spezifität des MRTs in der Vierfeldertafel am Beispiel der Summe aller Merkmale	62
21	Beispiel eines Patienten mit Wirbelkörperödem BWK 5 bis 9, beurteilte Fraktur BWK 7, CT im Vergleich	70
22	Beispiel eines Patienten mit Bandscheibenverletzung zwischen BWK 12 und LWK 1, CT im Vergleich	74
23	Beispiel eines Patienten mit Bandverletzungen: ALL 3, PLL 3 und PLC 2 zwischen BWK 6 und BWK 7, CT im Vergleich	77

**Tabellen:**

<b>Nummer:</b>	<b>Titel:</b>	<b>Seite:</b>
1	Altersverteilung im Patientenkollektiv	20
2	Verteilung der Frakturen nach Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score	22
3	Begleitverletzungen	23
4	Im CT bewertete Frakturen bezüglich Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score	32
5	Frakturmerkmale im CT und Zusammenhang mit der Magerl-Klassifikation	33
6	Im MRT bewertete Frakturen bezüglich Magerl-Klassifikation und Frankel-/ASIA-Score	35

**Fortsetzung Tabellen:**

<b>Nummer:</b>	<b>Titel:</b>	<b>Seite:</b>
7	Korrelation des Malalignements mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT	36
8	Frakturmerkmale im MRT und Zusammenhang mit der Magerl-Klassifikation	37
9	Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zur Magerl-Klassifikation	39
10	Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zu ausgewählten Magerl-Gruppen	40
11	Frakturstatus nach Oner et al. im MRT und Zusammenhang zu ausgewählten Magerl-Subgruppen	41
12	Korrelation der Status der Ligamenta mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT	42
13	Korrelation der Status der Bandscheiben mit der Klassifizierung nach Magerl et al. im MRT und CT	46
14	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien bei der Schnittmenge der 97 Frakturen	52
15	Qualität der Klassifizierung nach Magerl et al. (Übereinstimmung und Interobserverreliabilität)	53
16	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Typ A)	54
17	Magerl-Klassifikation nach CT- und MRT-Kriterien im Vergleich (Typ A)	56
18	Frakturmerkmale von CT und MRT im Vergleich	58
19	Sensitivität und Spezifität des MRTs bei der Beurteilung von Frakturmerkmalen basierend auf dem CT	63
20	Vergleich der Patientenkollektive	67
21	Höhenverteilung der beurteilten Frakturen bzw. der Wirbelkörperödeme („bone bruise“)	71
22	Reliabilität der Klassifizierung nach Magerl et al. (1994) im Vergleich zu anderen Studien	83

## Zusätzliche Darstellungen (siehe Kapitel 11):

<b>Nummer:</b>	<b>Titel:</b>	<b>Seite:</b>
1	Frankel-/ASIA-Score (Frankel et al. 1969, Moskopp und Wassmann 2005)	106
2	Bogen zur Klassifikation nach Magerl (Magerl et al. 1994)	107
3	Bogen zur Beurteilung röntgenologischer Merkmale der Frakturen	108
4a	Bogen zur Beurteilung MRT-spezifischer Frakturmerkmale (Oner et al. 1999 b) – Seite 1	109
4b	Bogen zur Beurteilung MRT-spezifischer Frakturmerkmale (Oner et al. 1999 b) – Seite 2	110
4	Übersicht der Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994)	111

## 11 Zusätzliche Darstellungen

**Darstellung 1** Frankel-/ASIA-Score (Frankel et al. 1969, Moskopp und Wassmann 2005)

<b>Grad</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Ausfälle</b>	Komplett	Inkomplett	Inkomplett	Inkomplett	Keine
<b>Definition modifiziert nach ASIA</b>	Keine motorische oder sensible Funktion unterhalb der Verletzungshöhe	Sensibilität bis in die sakralen Dermatome, aber keine motorische Funktion unterhalb der Verletzungshöhe	Motorische Funktion unterhalb der Verletzungshöhe; die Mehrzahl der Kennmuskeln haben einen Kraftgrad < 3*	Motorische Funktion unterhalb der Verletzungshöhe; die Mehrzahl der Kennmuskeln haben einen Kraftgrad > 2*	Sensible und motorische Funktionen normal

\* Kraftgrad nach der Pareseskala des Medical Research Council

**Darstellung 2** Bogen zur Klassifikation nach Magerl (Magerl et al. 1994)

A Kompressionsverletzungen		
A 1 Impaktionsbrüche		
A 1.1	Deckplattenimpression	<input type="checkbox"/>
A 1.2	Keilbruch	
	A 1.2.1 kranialer Keilbruch	<input type="checkbox"/>
	A 1.2.2 seitlicher Keilbruch	<input type="checkbox"/>
	A 1.2.3 kaudaler Keilbruch	<input type="checkbox"/>
A 1.3	Wirbelkörperimpaktion	<input type="checkbox"/>
A 2 Spaltbrüche		
A 2.1	Sagitaler Spaltbruch	<input type="checkbox"/>
A 2.2	Frontaler Spaltbruch	<input type="checkbox"/>
A 2.3	Kneifzangenbruch	<input type="checkbox"/>
A 3 Berstungsbrüche		
A 3.1	Inkompletter Berstungsbruch	
	A 3.1.1 kranialer inkompletter Berstungsbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.1.2 seitlicher inkompletter Berstungsbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.1.3 kaudaler inkompletter Berstungsbruch	<input type="checkbox"/>
A 3.2	Berstungsspaltbruch	
	A 3.2.1 kranialer Berstungsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.2.2 seitlicher Berstungsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.2.3 kaudaler Berstungsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
A 3.3	Kompletter Berstungsbruch	
	A 3.3.1 Kneifzangenberstungsbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.3.2 kompletter Flexionsberstungsbruch	<input type="checkbox"/>
	A 3.3.3 kompletter axialer Berstungsbruch	<input type="checkbox"/>
B Distaktionsverletzungen		
B 1 Flexionsdistraction (Dorsale, überwiegend ligamentäre Zerreißung)		
B 1.1	Mit querer Zerreißung der Bandscheibe	
	B 1.1.1 Flexionssubluxation	<input type="checkbox"/>
	B 1.1.2 vordere Luxation	<input type="checkbox"/>
	B 1.1.3 Flexionssubluxation oder vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze	<input type="checkbox"/>
B 1.2	Mit Fraktur des Wirbelkörpers vom Typ A	
	B 1.2.1 Flexionssubluxation mit Typ-A-Fraktur	<input type="checkbox"/>
	B 1.2.2 vordere Luxation mit Typ-A-Fraktur	<input type="checkbox"/>
	B 1.2.3 Flexionssubluxation oder vordere Luxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze und Typ-A-Fraktur	<input type="checkbox"/>
B 2 Flexionsdistraction (Dorsale, überwiegend ossäre Zerreißung)		
B 2.1	Horizontale Zerreißung des Wirbels ("Quere Zweisäulenverletzung")	<input type="checkbox"/>
B 2.2	Mit querer Zerreißung der Bandscheibe	
	B 2.2.1 Zerreißung der Pedikel und Bandscheibe	<input type="checkbox"/>
	B 2.2.2 Zerreißung durch die Pars interarticularis und die Bandscheibe (Flexionsspondylolyse)	<input type="checkbox"/>
B 2.3	Mit Typ-A-Wirbelkörperfraktur	
	B 2.3.1 Fraktur durch die Pedikel + Typ-A-Fraktur	<input type="checkbox"/>
	B 2.3.2 Fraktur durch die Pars interarticularis + Typ-A-Fraktur (Flexionsspondylolyse)	<input type="checkbox"/>
B 3 Hyperextensionsscherverletzung (Ventrale Zerreißung durch die Bandscheibe)		
B 3.1	Hyperextensionssubluxation	
	B 3.1.1 ohne Verletzung der hinteren Säule	<input type="checkbox"/>
	B 3.1.2 mit Verletzung der hinteren Säule	<input type="checkbox"/>
B 3.2	Hyperextensionsspondylolyse	<input type="checkbox"/>
B 3.3	Hintere Luxation	<input type="checkbox"/>
C Torsionsverletzungen		
C 1 Typ-A-Verletzungen mit Rotation		
C 1.1	Rotationskeilbruch	<input type="checkbox"/>
C 1.2	Rotationsspaltbruch	
	C 1.2.1 sagitaler Rotationsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
	C 1.2.2 frontaler Rotationsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
	C 1.2.3 Rotationskneifzangenbruch	<input type="checkbox"/>
	C 1.2.4 Wirbelkörperseparation	<input type="checkbox"/>
C 1.3	Rotationsberstungsbruch	
	C 1.3.1 inkompletter Rotationsberstungsbruch	<input type="checkbox"/>
	C 1.3.2 Rotationsberstungsspaltbruch	<input type="checkbox"/>
	C 1.3.3 kompletter Rotationsberstungsbruch	<input type="checkbox"/>
C 2 Typ-B-Verletzungen mit Rotation		
C 2.1	Typ B 1 mit Rotation	
	C 2.1.1 Rotationsflexionssubluxation	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.2 Rotationsflexionssubluxation mit einseitigem Gelenkfortsatzbruch	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.3 einseitige Luxation	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.4 vordere Rotationsluxation ohne/mit Gelenkfortsatzbruch	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.5 vordere Rotationssubluxation ohne/mit einseitigem Gelenkfortsatzbruch mit Typ-A-Wirbelkörperbruch	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.6 einseitige Luxation mit Typ-A-Wirbelkörperbruch	<input type="checkbox"/>
	C 2.1.7 vordere Rotationsluxation ohne/mit Gelenkfortsatzbruch mit Typ-A-Wirbelkörperbruch	<input type="checkbox"/>
C 2.2	Typ B 2 mit Rotation	
	C 2.2.1 horizontale Zerreißung des Wirbelkörpers mit Rotation	<input type="checkbox"/>
	C 2.2.2 einseitige Rotationsflexionsspondylolyse mit Zerreißung der Bandscheibe	<input type="checkbox"/>
	C 2.2.3 einseitige Rotationsflexionsspondylolyse mit Typ-A-Wirbelkörperbruch	<input type="checkbox"/>
C 2.3	Typ B 3 mit Rotation	
	C 2.3.1 Hyperextensionssubluxation ohne/mit Fraktur hinterer Wirbelelemente	<input type="checkbox"/>
	C 2.3.2 einseitige Hyperextensionsspondylolyse	<input type="checkbox"/>
	C 2.3.3 hintere Rotationsluxation	<input type="checkbox"/>
C 3 Rotationsscherbrüche		
C 3.1	Slice-fraktur (Holdsworth)	<input type="checkbox"/>
C 3.2	Rotationsschrägbuch	<input type="checkbox"/>

Auswerter	
Patient	
Frakturhöhe	

Nur ein Kreuz ist nötig!

**Darstellung 3** Bogen zur Beurteilung röntgenologischer Merkmale der Frakturen

X = Nativ-Röntgen	<input type="checkbox"/>
X = Topogramm	<input type="checkbox"/>

nur X	X + CT	X + MRT
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Patienten-Nr.:	
Auswerter:	

Bitte ein Kreuz pro Zeile setzen!

Merkmal			ja	nein	n.b.
Wirbelsäulenachse	Translatorische Verschiebung (oberer Abschnitt)	nach vorne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		nach hinten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		seitlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	skoliotische / seitliche Abknickung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	kyphotische / lordotische Abknickung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	"Phantomwirbel"		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wirbelkörper (WK)	Höhenverlust		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Keilförmige Deformierung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Hinterwand	verkürzt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		verlängert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ausrissfraktur an Vorder- oder Hinterkante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Abscherung von Seitenkanten des WK		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stufenbildung im Bereich der seitl. Konturen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hinterkanten- fragment	Nur nach dorsal verlagert		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Verlagerung nach dorsal und nach kranial		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Fragment um die Transversalachse gedreht		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bogenwurzel	Senkrechter Abstand	verkürzt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		verlängert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Querer Abstand	verlängert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Quere Fraktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Asymmetrische Darstellung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lamina	Längs gespalten		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Quere Fraktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Domfortsätze	Deutliche Vergrößerung des Abstandes		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Quere Fraktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Längs gespalten		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Querfortsätze	Längs gespalten		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Fraktur	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kleine Wirbelgelenke	Subluxation	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Luxation	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	"Leere Facette"		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gelenkfortsätze	Asymmetrische Darstellung / einseitige Fraktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Beidseitige Frakturen		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interartikular- portion	Fraktur	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rippen	Luxation	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Fraktur	Einseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Beidseitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weichteil- beurteilung	Verbreiteter paravertebraler Weichteilschatten		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Verminderte Höhe des Intervertebralraumes		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Patientennummer: \_\_\_\_\_

Bewerter: \_\_\_\_\_

Frakturhöhe: \_\_\_\_\_

**ALL = Lig. longitudinale anterius**



**ALL1:** Kein Anhalt auf eine Verletzung. ☐

**ALL2:** Das Band ist gedehnt, aber durchgängig. Entweder ist eine Ablösung des Bandes vorhanden, oder es ist nicht mehr anliegend aufgrund eines Hervortretens der Bandscheibe oder des vorderen Anteils des Wirbels. ☐

**ALL3:** Das Band ist gerissen. ☐

**PLL = Lig. longitudinale posterius**

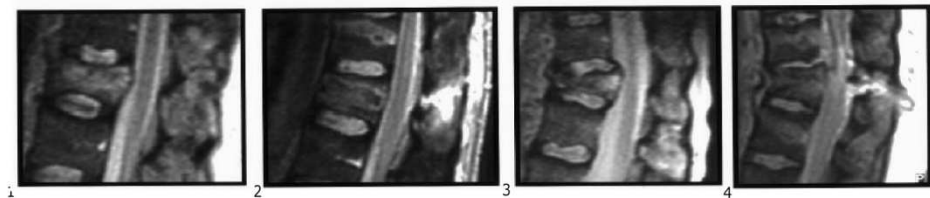


**PLL1:** Kein Anhalt auf eine Verletzung. ☐

**PLL2:** Das Band wird vom hervortretenden Knochenfragment der hinteren Wirbelkörperkortikalis beeinträchtigt und ☐

**PLL3:** Das Band ist gerissen. ☐

**PLC = Hinterer ligamentärer Komplex**



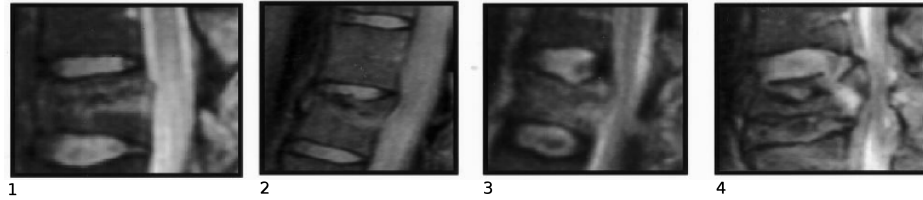
**PLC1:** Kein Anhalt auf eine Verletzung. ☐

**PLC2:** Ödeme im Raum zwischen den Procc. Spinosi ohne Anhalt auf eine Diskontinuität oder Verlängerung. ☐

**PLC3:** Der Raum zwischen den Procc. Spinosi ist vergrößert ohne Hinweis auf eine Diskontinuität der Bänder. Diese Vergrößerung wird einer höheren Kategorie zugeordnet, weil sie auf eine gewisse Schwächung der Resistenz gegen distrahierende Kräfte hinweist, wobei ein Ödeme auch in Bändern mit intakter Struktur vorkommen. ☐

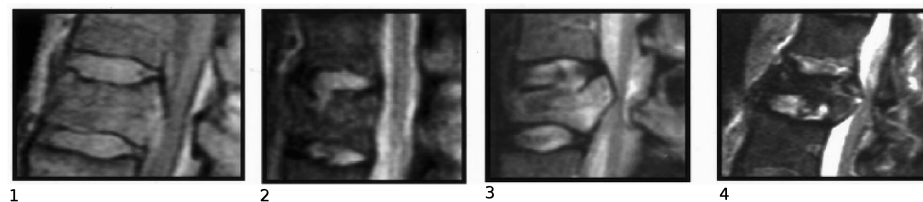
**PLC4:** Klare Zerreißung des PLC. ☐

**EP = Wirbelkörperdeckplatte bzw. -grundplatte**



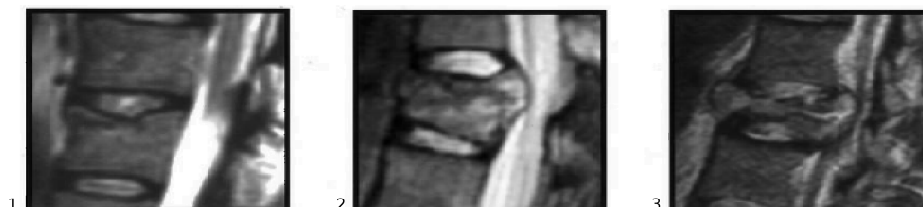
		kranial	kaudal
<b>EP0:</b>	Keine plastische Deformität der Deck- bzw. Grundplatte. Keine Unterbrechung der Kontinuität.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EP1:</b>	Einfache plastische Deformität der Deck- bzw. Grundplatte. Keine Unterbrechung der Kontinuität.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EP2:</b>	Die vordere Hälfte der Deckplatte ist unterbrochen. Eine Bewiesene Diskontinuität der hypointensen (schwarzen) Linie ist nötig, um sie als unterbrochen zu bezeichnen. Auf diese Art und Weise können schon vorher existierende Veränderungen, wie alte Frakturen oder Schmorlsche Knoten ausgeschlossen werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EP3:</b>	Die hintere Hälfte der Deckplatte ist unterbrochen. Eine Einstufung in eine höhere Kategorie ist deshalb angebracht, weil es auf eine gewisse Instabilität in Richtung des Neuralrohres hinweist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EP4:</b>	Unterbrechungen im gesamten Bereich der Deckplatte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**DI = Bandscheibe**



		kranial	kaudal
<b>DI1:</b>	Kein Hinweis auf eine Verletzung im Spalt zwischen den Wirbelkörpern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DI2:</b>	Zerreißung und/oder Trümmer in der vorderen Hälfte des Bandscheibenraumes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DI3:</b>	Zerreißung und/oder Trümmer in der hinteren Hälfte des Bandscheibenraumes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DI4:</b>	Der gesamte Bereich ist einbezogen. Entweder herniiert die Bandscheibe komplett in den Bereich des Wirbelkörpers und/oder es gibt eine Zerreißung und/oder Trümmer im gesamten Bereich des Bandscheibenraumes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**COR = Wirbelkörper**

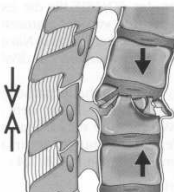


<b>COR1:</b>	Weniger als 1/3 des Wirbelkörpervolumens ist betroffen. Ein Maß dafür ist der Anteil des Wirbelkörperödems.	<input type="checkbox"/>
<b>COR2:</b>	1/3 bis 2/3 des Wirbelkörpervolumens ist betroffen.	<input type="checkbox"/>
<b>COR3:</b>	Mehr als 2/3 des Wirbelkörpervolumens ist betroffen.	<input type="checkbox"/>

Hämatome			
epidural	subdural	subarachnoidal	anderer Ort
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CORx (andere Wirbelkörperödeme)			
Wirbelkrperbezeichnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COR-Skala (1-3)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Darstellung 5** Übersicht der Magerl-Klassifikation (Magerl et al. 1994)

Typ	Gruppe	Untergruppe
A  	A.1   	

## Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich,

dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel **„Die Wertigkeit des initialen MRTs zur Diagnosefindung und Operationsplanung bei Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule“** unter Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr. med. R. Kalff ohne sonstige Hilfe selbständig angefertigt habe, keine Textabschnitte eines Dritten oder eigener Prüfungsarbeiten ohne Kennzeichnung übernommen und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

dass mich die folgenden Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Herr Univ.-Prof. Dr. med. R. Kalff, Direktor der Klinik für Neurochirurgie,

Herr Dr. med. K. Ebmeier, Facharzt für Neurochirurgie,

Herr Dr. med. R. Reichart, Facharzt für Neurochirurgie,

Frau Dr. Hoyer, Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation

dass die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Christian Gerhardt  
*Leipzig, den 24. November 2010*

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn **Univ.-Prof. Dr. med. R. Kalff** für die Überlassung des Themas und für das Heranführen an die Neurochirurgie. Durch ihn war es mir möglich, einen praktischen Einblick in das Prozedere der Diagnostik, Therapie und Nachsorge von Patienten mit Traumata der Wirbelsäule zu erhalten.

Desweiteren danke ich Herrn **Dr. med. K. Ebmeier** für die großzügige zeitliche und persönliche Unterstützung bei der Beurteilung der Bilddaten im Studienzeitraum des CTs sowie für die verlässliche Betreuung. Auch seine Anregungen und Hinweise im Verlauf des Projektes verdienen speziellen Dank.

Herrn **Dr. med. R. Reichart** danke ich besonders für seinen bedeutenden und flexiblen Einsatz bei der Begutachtung der Darstellungen im Studienzeitraum des MRTs. Seine Motivation im gesamten Untersuchungszeitraum und sein Rat bei der Fertigstellung der Arbeit waren mir sehr wertvoll.

**Frau T. Klaus** gebührt mein Dank für das zeitaufwendige und intensive Korrekturlesen.

Zudem möchte ich von Herzen **meiner Frau** für die moralische, orthographische, stilistische Unterstützung und den Rückhalt in dieser Zeit danken.

# Lebenslauf des Autors

(Stand: 24. November 2010)

## *Persönliche Daten*

### **Christian Gerhardt**

geb. am 25. Juni 1980 in Jena  
deutsch  
verheiratet, keine Kinder  
evangelisch

## *Schulbildung*

09/1987 – 06/1999

Grundschule, Gymnasium „Hochharz“ Elbingerode  
Abschluss: Abitur

## *Anderer Dienst im Ausland*

11/1999 – 07/2001

Rehabilitationszentrum für Drogen- und Alkoholsüchtige  
Blumenau, Santa Catarina, Brasilien

## *Hochschulstudium*

10/2001 – 03/2008  
08 – 09/2003  
10 – 12/2007

Studium der Humanmedizin, Friedrich-Schiller-Universität, Jena  
- Ärztliche Vorprüfung  
- Ärztliche Prüfung  
- Promotion (Neurochirurgie, Jena) zum Thema:  
„Die Wertigkeit des initialen MRT zur Diagnosefindung  
und Operationsplanung bei Frakturen der thorakolumbalen  
Wirbelsäule“

## *Klinische Praktika*

06 – 07/1999

Station für Pneumologie (Krankenhaus Neustadt, Harz)

07 – 08/2002

Chirurgische Station (Kreiskrankenhaus Wernigerode)

02 – 03/2004

Praxis für Allgemeinmedizin (Barra Grande, Bahia, Brasilien)

08 – 09/2004

Klinik für Neurochirurgie (Universitätsklinikum Jena)

09 – 10/2004

Station für Neuropädiatrie (Kinderklinik des  
Universitätsklinikums Jena)

08/2005

Praxis für Allgemeinmedizin (Gotha)

09 – 10/2005

Klinik für Kinderchirurgie (Universitätsklinikum Jena)

08/2006 – 07/2007

Praktisches Jahr:  
Gefäß-/ Viszeralchirurgie (Thüringenkliniken Standort Saalfeld)  
Station für Hämatologie (Universitätsklinikum Jena)  
Klinik für Psychiatrie (Universitätsklinikum Jena)

*Berufliche Tätigkeit*

	Als Assistenzarzt:
<i>03 – 12/2008</i>	Rugarama Hospital, Kabale, Uganda - Fachgebiete: Innere Medizin, Allgemeinmedizin, Pädiatrie und Gynäkologie
<i>04/2009 – 09/2010</i>	Carl-von-Basedow-Klinikum Saalkreis GmbH, Merseburg, - Fachgebiet: Interdisziplinäre Intensivmedizin
<i>Seit 10/2010</i>	Park-Krankenhaus, Leipzig - Fachgebiet: Psychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatik

Christian Gerhardt  
*Leipzig, den 24. November 2010*